534.05
AK

JUL 19 1944

# Akustische Zeitschrift

Im Auftrage der

DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT

unter Mitwirkung der

DEUTSCHEN REICHSPOST und PHYSIKAL.-TECHN. REICHSANSTALT

herausgegeben von

MARTIN GRÜTZMACHER und ERWIN MEYER

1. Zum 60. Geburtstag von Staatsrat Professor Dr. Esau ..... 1

2. G. v. Békésy: Über die mechanische Frequenzanalyse in der Schnecke verschiedener Tiere 3

3. A. Rechten: Über den elektromagnetischen Antrieb von akustischen Kleinsignalsendern, insbesondere Weckern ..... 12

4. Patentschau ..... 39

5. Schrifttum ..... 42

Erstes Heft Neunter Jahrgang Januar 1944

Verlag von S. Hirzel in Leipzig

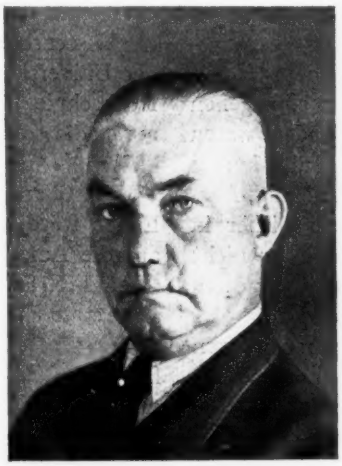
534.05
AK
v.9

AKUSTISCHE ZEITSCHRIFT

Erstes Heft Neunter Jahrgang Januar 1944

# *Zum 60. Geburtstag von Staatsrat Professor Dr. Esau*

Am 7. Juni 1944 vollendete Staatsrat Prof. Dr. ABRAHAM ESAU, Präsident der Physikalisch-technischen Reichsanstalt sein 60. Lebensjahr. Geboren in Tiegenhagen, einem kleinen Ort im Weichseldelta im Kreise Marienburg, besuchte er zunächst die Realschule in seiner Geburtsstadt und erwarb 1902 das Reifezeugnis auf der Oberrealschule in Danzig. Von 1902 bis 1905 studierte er an der Universität Berlin Physik und Mathematik; 1905 setzte er sein Studium an der technischen Hochschule Danzig fort, wo er von 1906 bis 1909 eine Assistentenstelle am physikalischen Institut bekleidete. In dieser Zeit verfaßte er unter Leitung von Prof. MAX WIEN seine Doktorarbeit „Über den Widerstand von Spulen bei hochfrequenten Schwingungen", auf Grund deren er 1908 zum Dr. phil. an der Universität Berlin promovierte. Von 1909 bis 1910 diente er als Einjährig-Freiwilliger bei der Funkerkompagnie des Telegraphenbataillons I in Berlin. In den Jahren 1910 bis 1912 war ESAU Assistent am Physikalischen Institut der Universität Halle bei Prof. K. SCHMIDT. In dieser Zeit entstanden seine ersten Arbeiten auf dem Gebiet der drahtlosen Telegraphie, in denen er die atmosphärischen Einflüsse auf Sende- und Empfangsanlagen, die Bestimmung der elektrischen Konstanten von Antennen usw. behandelte. 1912 wurde er von der Fa. Telefunken als Leiter des Empfangslaboratoriums nach Berlin gerufen in einer Zeit, als die stürmische Entwicklung des neuen Verkehrsmittels, der drahtlosen Nachrichtenübermittlung einsetzte, an der ESAU entscheidenden Anteil nehmen konnte. So wurde er im Frühjahr 1914 nach der deutschen Kolonie Togo geschickt, um die Abnahmeversuche der dort von Telefunken errichteten Großstation Kamina zu leiten. Hier überraschte ihn der Ausbruch des Weltkrieges, und als nach der unvermeidlichen Kapitulation der Kolonie Togo die gerade fertig gewordene drahtlose Station gesprengt werden mußte, deren Betrieb ESAU noch bis zum letzten Augenblick leitete, kam er in französische Gefangenschaft, zunächst nach Dahomey, dann in weitere Gefangenenlager nach Marokko, Algier und schließlich nach Südfrankreich, von wo er 1917 über die Schweiz nach der Heimat ausgetauscht wurde.



*Abraham Esau*

1918 nahm er seine Tätigkeit bei Telefunken als Chef des Empfangslaboratoriums wieder auf. In den folgenden Jahren entstand aus seiner Feder eine Reihe von Arbeiten über die Berechnung des Selbstinduktionskoeffizienten von Spulen mit rechteckigen bzw. quadratischem Querschnitt, über Selbstinduktion, Kapazität und Eigenschwingungen der BRAUNschen Rah-

534.05
AK
v.9
Serial
Physics



menantenne, über die Gegeninduktivität häufig vorkommender Leiterformen und insbesondere über die Richtcharakteristiken von Antennenkombinationen und die Eigenschaften von Goniometeranlagen. Diese letzten Arbeiten bildeten die Grundlage für den Bau zahlreicher Großempfangsanlagen mit Richtstrahlung in aller Welt. So kam es, daß ESAU von 1921 bis 1922 im Auftrage von Telefunken in Brasilien und Argentinien weilte, um dort die drahtlosen Empfangsverhältnisse zu studieren. Bei dieser Gelegenheit beobachtete er als erster am Antipodenpunkt den Empfang der elektrischen Wellen einer Station aus entgegengesetzten Richtungen.

Ostern 1925 wurde ESAU zum beamteten a. o. Professor für technische Physik und Direktor des technisch-physikalischen Institutes nach Jena berufen; 1927 erfolgte seine Ernennung zum ordentlichen Professor. Unter seiner Leitung wurde das Jenaer Institut der Ausgangspunkt zahlreicher Arbeiten auf dem Hochfrequenzgebiet, auf die im einzelnen einzugehen hier zu weit führen würde. Insbesondere waren es die Erzeugung ungedämpfter ultrakurzer Wellen, die Untersuchung der Bündelung, Ausbreitung und des Empfangs dieses bisher in der Hochfrequenztechnik noch fast gar nicht benutzten Wellenbereichs und das Studium ihres Einflusses auf die lebende und tote Materie. Daneben entstanden Untersuchungen zur Frage der dynamischen Prüfung von Werkstoffen. Groß ist die Zahl seiner Schüler, die als Doktoranden sein Institut verließen und heute an vielen Stellen der Industrie bereits in führenden Stellungen tätig sind.

1932 wurde ESAU durch das Vertrauen seiner Kollegen zum Rektor der Universität Jena erwählt; er hat dieses Amt bis 1935 bekleidet. Daß er sich dank seiner Führernatur auch hierbei große Verdienste erworben hat, beweist die Tatsache, daß ihm 1937 dieses ehrenvolle Amt zum zweiten Male übertragen wurde. Auf Grund seines fruchtbaren und verdienstvollen Wirkens wurde er 1933 zum thüringischen Staatsrat, 1934 zum Stiftungskommissar der Carl-Zeiß-Stiftung und 1935 zum Mitglied des Reichskultursenates ernannt.

1941 erhielt ESAU seine Ernennung zum Präsidenten der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, nachdem er dieses Amt kommissarisch bereits seit 1938 verwaltet hatte. Infolge seiner organisatorischen Fähigkeiten sowie seiner Verbindungen zu Wissenschaft, Technik und Industrie war er wie kein zweiter zur Übernahme dieses schwierigen Amtes in einer äußerlich und innerlich bewegten Zeit berufen. 1942 wurde ESAU zum Bevollmächtigten des Reichsmarschalls für Kernphysik und 1944 zum Bevollmächtigten der Hochfrequenzforschung berufen. Neben diesen ehrenvollen Aufträgen beweisen seine Ernennung zum ordentlichen Mitglied der Akademie der Luftfahrtforschung 1927, zum ordentlichen Mitglied der Leopoldinischen Akademie der Naturforscher in Halle 1938, zum Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften 1942 und zum Ehrensenator der Universität Erlangen und der technischen Hochschule Danzig 1944 die äußere Anerkennung, die sein Schaffen und Wirken gefunden haben.

Die Charakterisierung der Persönlichkeit ESAUS wäre unvollständig, wenn sie sich nur auf die Aufzählung dieser äußeren Daten beschränkte. Sein gerades und aufrichtiges Wesen, seine stete Hilfsbereitschaft, seine unermüdliche Arbeitskraft, die bei der Verfolgung eines Zieles kein Hindernis kennt, bahnen ihm die Wege und öffnen ihm die Herzen seiner Schüler und Freunde. Mit der ihm eigenen Rednergabe versteht er es in Vorträgen und Reden seine Hörer zu fesseln und ihnen schwierige Dinge in leicht verständlicher Form zu schildern. Er ist ein Mensch, der die Arbeit und den Erfolg liebt, der aber auch dem Frohsinn und den Genüssen des Lebens nicht abhold ist.

Wenn wir daher heute ESAU unsere herzlichsten Glückwünsche darbringen, wünschen wir ihm gleichzeitig noch eine Reihe weiterer für ihn und die technische Physik beglückender und fruchtbringender Jahre.

L. BERGMANN.

Ad

821077



# Über die mechanische Frequenzanalyse in der Schnecke verschiedener Tiere

Von Georg v. Békésy

*(Mit 19 Textabbildungen)*

## 1. Einleitung

In der Abb. 1 stellt die Figur A das häutige Labyrinth einer Schildkröte, B eines Vogels und C eines Säugetieres dar. Die drei zueinander senkrechten Kanäle sind die Bogengänge und dienen zur Richtungseinstellung des Kopfes. Die punktiert dünn eingezeichneten rundlichen Stellen entsprechen kleinen Steinchen, die ebenfalls der Gleichgewichtsempfindung dienen. Auf dem quer schraffierten Teil endigen die Hörnerven, so daß diese Stelle für die Hörempfindung verantwortlich ist.

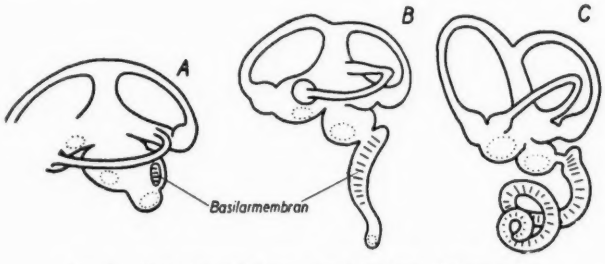



Abb. 1. Die Entwicklung des häutigen Labyrinthes. A Schildkröte, B Vogel, C Säugetier

Verfolgt man diese 3 Stufen der Entwicklung des häutigen Labyrinthes, so ist es geradezu auffallend, daß die Bogengänge äußerlich sichtbar fast keine Veränderung durchmachen, während die schraffiert dargestellte Basilarmembran an Länge dauernd zunimmt. Durch diese Längenzunahme wird der unterste Gehörstein an das Ende einer Röhre gedrängt, bis er schließlich beim Säugetierlabyrinth vollkommen verschwindet.

Es entsteht nun die Frage, wieweit die Hörfähigkeit der verschiedenen Tiere durch die Längenzunahme der Basilarmembran verbessert wird, und ob diese Längenzunahme überhaupt eine Verbesserung darstellt. Insbesondere ist von Interesse, ob durch eine Längenzunahme nur der Hörbereich nach den tiefen und hohen Tönen erweitert wird, oder ob sich die Trennfähigkeit des Ohres für die Töne verschiedener Frequenz verbessert.

Zur Untersuchung der Hörfähigkeit der Tiere wurden mannigfache Methoden ausgearbeitet[1]).

Man kann z. B., um den Prüfton mit einer lebenswichtigen Handlung des Tieres zu verknüpfen, das Futter immer mit einem sog. Freßton gleichzeitig darbieten. Nach einigen Tagen wird dann das Erklingen dieses Tones gewisse Bewegungen bewirken, aus denen man auf die Hörfähigkeit des Tieres für diesen Ton schließen kann.

Auch ohne Dressur lassen sich in gewissen Fällen durch einen Ton Reflexbewegungen erzielen. Besonders bekannt ist der Ohrmuschelreflex beim Meerschweinchen, der in einer Bewegung der Ohrmuschel beim Einschalten der Schallquelle besteht. Alle diese Methoden erfordern verhältnismäßig große Erfahrungen im Umgang mit den Versuchstieren, wenn sie zuverlässige Ergebnisse liefern sollen. Ganz abgesehen davon, daß die Versuchsdauer meist unverhältnismäßig lang ist.

Einfacher sind diejenigen Versuche, bei denen man die durch den Schallreiz auftretenden elektrischen Potentialschwankungen in der Nähe der Basilarmembran (Wever-Bray-Effekt) und die in den Hörnerven entstehenden Spannungs-

[1]) F. Kleinknecht, Methoden zur Erforschung des Kochleusapparates in E. Abderhalden, Handb. d. biol. Arbeitsmethoden, Abt. V, Teil 7, Heft 11.



LIBRARY

stöße untersucht. Auf diesem Wege kann man die Frequenzabhängigkeit der Hörschwelle sehr schön aufnehmen. Beobachtet man die in den höheren Gebieten der Nervenbahn bei Schwebungen auftretenden Spannungsänderungen, so lassen sich auch über die Frequenztrennung Anhaltspunkte gewinnen.

In allen diesen Fällen ist jedoch die mechanische Frequenzauflösung mit der nervösen gekoppelt, so daß man über die Zweckmäßigkeit der Längenzunahme der Basilarmembran kein sicheres Bild erhält. Es wurde daher versucht, auf rein anatomischen Wege die Entwicklung der mechanischen Frequenzauflösung in dem Ohre zu verfolgen.

Nachdem es nämlich gelungen ist[2]), beim Menschen die Amplitudenverteilung längs der Schneckentrennwand bei den verschiedenen Frequenzen direkt auszumessen, so bestand die Möglichkeit, den Frequenzbereich zu ermitteln, innerhalb dessen jeder Frequenzänderung eine Ortsänderung auf der Schneckentrennwand entspricht. Auf diese Weise ließ sich nach der tieferen Hörgrenze hin jener Frequenzbereich eingrenzen, innerhalb dem eine mechanische Frequenztrennung erfolgt. Die obere Auflösungsgrenze konnte nicht bestimmt werden, da bei den hohen Tönen die Schwingungsamplituden der Schneckentrennwand so klein werden, daß Messungen nicht mehr ausgeführt werden konnten.

Nach diesen Gesichtspunkten wurden die Schnecken verschiedener Tiere untersucht.

## 2. Meerschwein

Vergleicht man den anatomischen Aufbau der verschiedenen Tierschnecken miteinander, so zeigen sich in den für die Flüssigkeitsströmung in der Schnecke maßgebenden Größen nur feinere Unterschiede. Dagegen zeigt der äußere Aufbau der Schnecke größere Veränderungen. So ist beim Menschen die ganze Schnecke in einem harten Knochen eingebettet, während sie beim Meerschwein und den meisten Nagetieren aus einer ganz dünnwandigen Knochnschale besteht, die freistehend in einer größeren Knochenhöhle aufgebaut ist. Für das Meerschweinohr zeigt diesen turmförmigen Aufbau die Abb. 2. Es schimmert durch die Knochenschale der innere Aufbau der Schnecke hindurch, der vier ganze Schneckenwindungen aufweist. Da der Mensch nur $2^3/_4$ Windungen besitzt, so fragt sich hier, ob damit irgend eine höhere Entwicklungsstufe verbunden ist.

Abb. 2. Mittelohr und Schneckengehäuse des Meerschweines

Der Steigbügel besteht hier aus einem Kolben mit einer geraden Kolbenstange, die in der Abbildung ebenfalls gut zu sehen ist.

Das dünnwandige Schneckengehäuse kann mit dem Bohrer nicht eröffnet werden, da sonst meist wegen des geringen Haltes eine größere Fläche einbricht. Entweder verfestigt man das Gehäuse, indem man seine Wand mit Zinkoxyphosphatzement bestreicht oder bricht mit einer scharfen Nadel oder Pinzette kleine Teile der Wand ab. Diese letztere Methode hat den Vorteil, daß man von außen die Lage der Schneckentrennwand gut übersehen kann.

Um die Schwingungsverhältnisse der Schnekkentrennwand ausmessen zu können, mußte für jede Tierart eine Karte der Schnecke hergestellt

[2]) Akust. Z. 8 (1943), S. 66.

werden. In der Abb. 3 wurden für das Meerschwein die Stellen maximaler Ausbuchtung der Schneckentrennwand auf eine zur Achse vertikale Ebene projiziert, miteinander verbunden und gleichzeitig die Entfernungen längs der

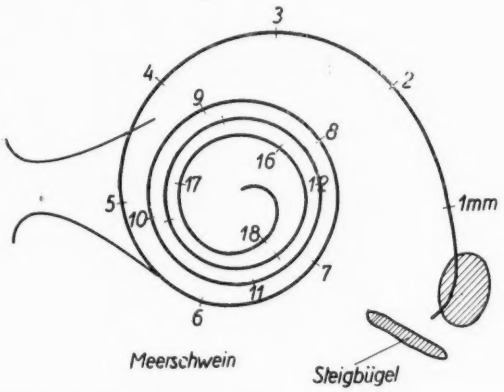



Abb. 3. Krümmung und Länge der Meerschweinschnecke

Schneckentrennwand, vom Beginn beim Steigbügel aus gerechnet, eingetragen. Die Lage des runden und dem zum Steigbügel gehörigen ovalen Fensters ist durch die beiden schraffierten Flächen angedeutet.

Die Länge der Meerschweinschnecke beträgt nur 18 mm gegenüber der Länge beim Menschen, die 35 mm ausmacht. Daraus folgert man, daß das Meerschwein trotz der größeren Zahl von Windungen nur in einem höheren Frequenzbereich eine örtliche Trennung der verschiedenen Frequenzen auf der Schneckentrennwand erreichen kann.

Diese Folgerung bestätigt sich vollkommen, wenn man der ganzen Schneckenlänge nach für jeden Ort jene Frequenz bestimmt, bei der die Schneckentrennwand maximale Schwingungen aufweist. Die Volumenverschiebungen des Steigbügels wurden bei diesen Messungen für alle Frequenzen vollkommen konstant gehalten.

Die Meßergebnisse sind in der Abb. 4 eingetragen. Bei einer Frequenz von 200 Hz ist die vom Steigbügel entfernteste Stelle der Schneckentrennwand erreicht, so daß sich bei einer weiteren Vertiefung der Tonfrequenz die Schwingungsform der Schneckentrennwand nicht mehr ändert. Nur die Amplitude wird kleiner, da sich die Flüssigkeitsbewegungen immer mehr über das Helicotrema ausgleichen. In der Meerschweinschnecke ist daher eine mechanische Frequenzanalyse unterhalb 200 Hz nicht mehr möglich.

Trotzdem die mechanische Frequenzanalyse unterhalb 200 Hz aufhört, so ist es dennoch möglich, daß durch nervöse Prozesse eine geringe Frequenzunterscheidung auftreten kann, nur ist für den Bereich unterhalb 200 Hz die Unterschiedsschwelle für Frequenzänderungen bedeutend größer. Denn es gelten dann auch für den Hörvorgang die gleichen Verhältnisse, wie beim Vibrationssinn der Haut, wo die Frequenzunterscheidungsfähigkeit gering ist.

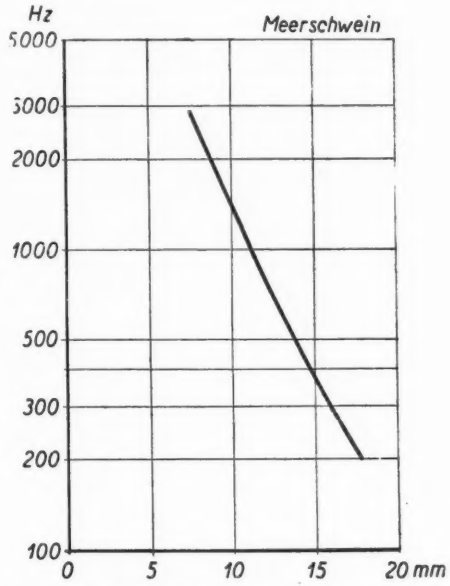



Abb. 4. Frequenzabhängigkeit des Ortes maximaler Schwingungen bei der Schnecke des Meerschweines

Im übrigen sind die Schwingungserscheinungen in dem Schneckenkanal den Verhältnissen beim Menschen recht gleich. Faßt man eine Stelle der Schneckentrennwand ins Auge und läßt bei konstanter Schwingungsamplitude des Steigbügels, die Frequenz sich allmählich erhöhen, so erhält man für verschiedene Stellen der Schneckentrennwand die in der Abb. 5 dargestellten Resonanzkurven. Sie unterscheiden sich nur insofern von den analogen der mensch-

lichen Schnecke, daß die Resonanzschärfe bei den höheren Frequenzen deutlich größer wird und bei 1000 Hz das logarithmische Dämpfungsdekrement bereits auf den Wert

$$d = 1{,}2$$

gesunken ist.

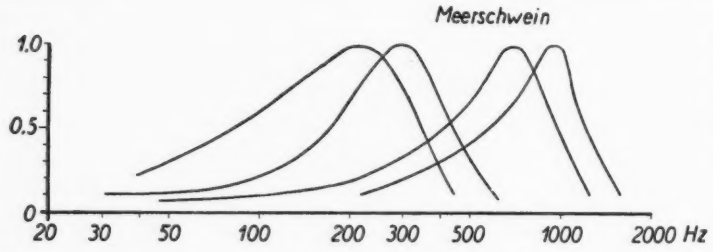



Abb. 5. Resonanzkurven für verschiedene Stellen der Schneckentrennwand beim Meerschwein

### 3. Vogelohr

Auf einer recht anfänglichen Entwicklungsstufe scheint das Gehörorgan des Haushuhnes zu stehen. Die Schnecke besteht hier aus einer etwa 5 mm langen schwach gekrümmten Röhre.

Die Entwicklung der Schnecke scheint dadurch zu beginnen, daß sich ein länglicher Sack des häutigen Labyrinthes, das in eine Knochenröhre eingebettet ist, auf der einen Seite seiner ganzen Länge nach von der Knochenwand loslöst. Dadurch entsteht in einer festen knöchernen Röhre eine zweite Röhre mit einer elastischen Wand, d. h. ein Doppelkanal mit einer elastischen Trennwand. Bei dem untersuchten Haushuhn ist der längliche Sack am Ende noch geschlossen, so daß zwischen den beiden Kanälen keine Verbindung besteht, die etwa dem Helicotrema beim Menschen entsprechen könnte.

Dies hat zur Folge, daß ein Druck in der einen Kanalhälfte eine bleibende Ausbuchtung der Schneckentrennwand erzeugt. Die Messungen wurden durch diese Tatsache ganz bedeutend erschwert, da ganz langsame Verschiebungen zwischen Meßanordnung und Knochen sofort ein Zerreißen der Schneckentrennwand bewirken. Auch die geringsten bleibenden Deformationen im Mittelohr erzeugen Veränderungen in der Schnecke, während bei den Säugetieren dieser physiologisch unzweckmäßige Einfluß des Mittelohres auf das Innenohr durch das Helicotrema beseitigt ist.

Bei den Vögeln wäre jedoch ein Helicotrema deshalb nicht zweckmäßig, da wegen der geringen Länge des Schneckenkanales durch eine Öffnung, wie das Helicotrema, die Empfindlichkeit des Ohres sehr stark abnehmen würde.

In der Abb. 6 ist die Basilarmembran des Haushuhnes dargestellt, sowohl von oben gesehen, wie von der Seite. Am Ende der Basilarmembran befindet sich eine weißliche Kalkablagerung. Die räumliche Lage der Stapesplatte gegenüber dem Doppelkanal ist ebenfalls punktiert eingezeichnet.

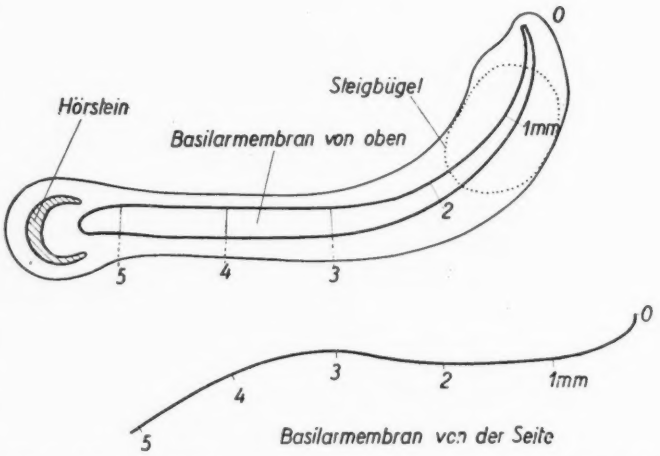



Abb. 6. Länge und Krümmung der Schneckentrennwand beim Haushuhn

Die Verschiebung der Resonanzstellen längs der Schneckentrennwand bei einer Änderung der Frequenz sind aus der Abb. 7 zu ersehen. Unterhalb 100 Hz tritt auch beim Haushuhn keine mechanische Frequenzanalyse mehr auf, da die Schneckentrennwand ihrer ganzen Länge nach schwingt und diese Schwingungsform sich

bei einer weiteren Frequenzvertiefung nicht mehr ändert. Den obersten Hörbereich kann man durch Extrapolation auf die Membranlänge Null abschätzen.

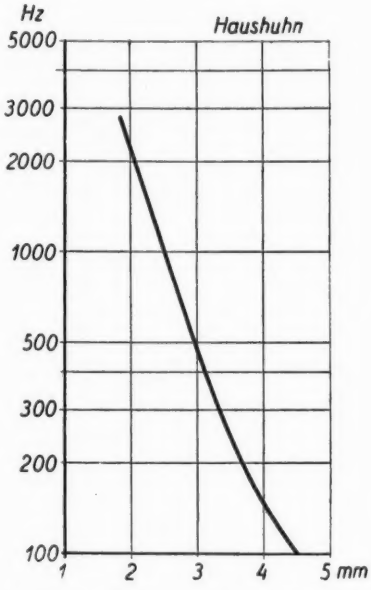



Abb. 7. Frequenzabhängigkeit des Ortes maximaler Schwingugenn beim Haushuhn

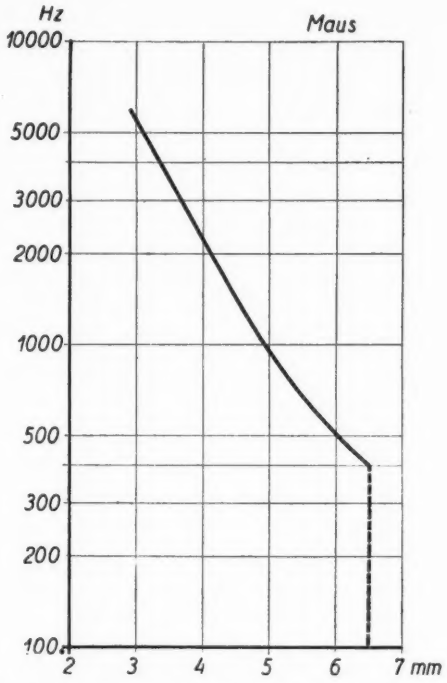



Abb. 10. Frequenzabhängigkeit des Resonanzortes bei der Maus

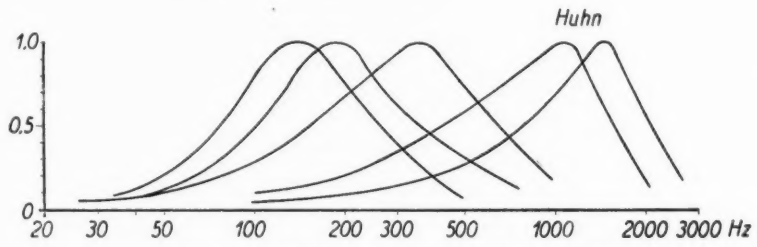



Abb. 8. Schneckenresonanzkurven beim Haushuhn

Von besonderem Interesse ist, ob sich bei einem so kurzen Schneckenkanal die Resonanzkurven ändern. Die Abb. 8 stellt die erhaltenen Meßergebnisse dar. Das Dämpfungsdekrement unterscheidet sich nicht wesentlich von dem des menschlichen Ohres.

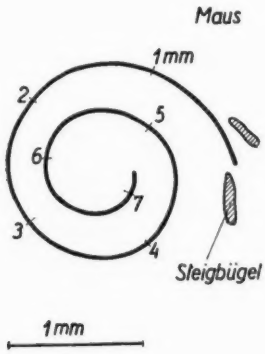



Abb. 9. Schneckenkarte der Maus

## 4. Maus

Die Schneckenkarte und die Ortsabhängigkeit der Resonanzstellen für die Maus sind in der Abb. 9 und Abb. 10 zusammengestellt. Die Länge der Schneckentrennwand beträgt hier 7 mm. Doch nimmt am Ende der Schneckentrennwand die Volumenelastizität nicht weiter ab, so daß eine Verschiebung der Resonanzstellen nur bis etwa 6,5 mm eintrat. Die zugehörige tiefste Frequenz betrug 400 Hz.

### 5. Ratte

Die Abmessungen der Schnecke, besonders der Kanaldurchmesser, sind bei der Maus zu klein, um zuverlässige Messungen ausführen zu können. Daher wurde, um Unterlagen für die weiteren Versuche zu erhalten, auch die Schnecke der Ratte untersucht. Die Größe der Schnecke erlaubt es hier ohne besondere Schwierigkeiten, die Präparationen auszuführen. Wie die Abb. 11 zeigt, beträgt die Länge der Schneckentrennwand 9,7 mm und die tiefste Frequenz mit mechanischer Frequenzanalyse, entsprechend Abb. 12, 200 Hz.

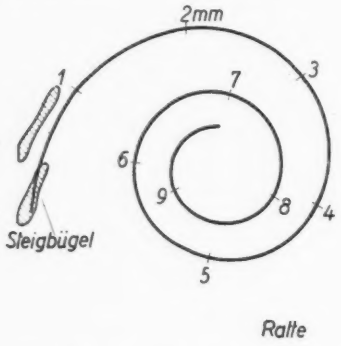



Abb. 11. Schneckenkarte der Ratte

Auch hier nimmt die Steifigkeit der Schnekkentrennwand für die Längen von 9,5 bis 9,7 mm zu, so daß sich die Resonanzstelle nur bis 9,5 mm verschiebt.

### 6. Rind

Um Anhaltspunkte darüber zu erhalten, wie sich die Hörfähigkeit der Tiere mit ihrer Größe ändert, wurde auch noch die Schnecke des Rindes untersucht, da sie unter den größeren Tieren am leichtesten zugänglich war. Wie die Schneckenkarte der Abb. 13 zeigt, sind auch die Abmessungen der Schnecke ziemlich groß. Die Gesamtlänge der Schneckentrennwand beträgt über 38 mm, und es sind im ganzen $3^1/_2$ Windungen vorhanden. Die mechanische Frequenzanalyse erstreckt sich bis zu 50 Hz. Die Verteilung der Resonanzstellen längs der Schneckentrennwand bei den verschiedenen Frequenzen

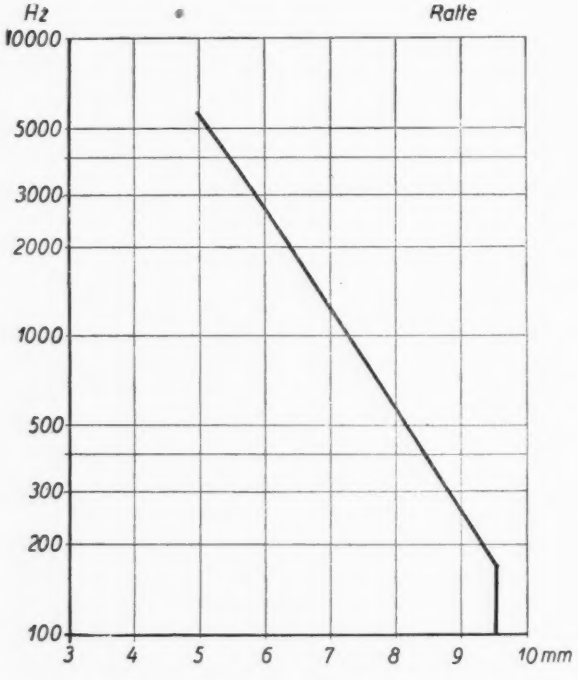



Abb. 12. Das Gleiche, wie die Abb. 10, für die Ratte

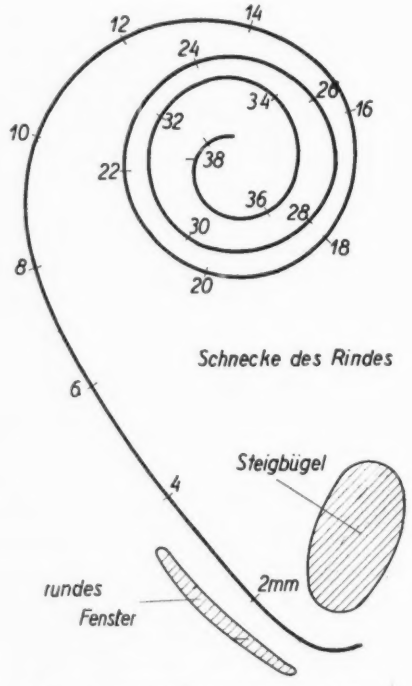



Abb. 13. Schneckenkarte des Rindes

ist aus der Abb. 14 zu ersehen. Die Kurve stellt fast eine Gerade dar.

Die Schnecke des Rindes und des Kalbes ist für viele anatomische Untersuchungen recht gut zu verwenden, besonders deshalb, da sie scheinbar längere Zeit frisch bleibt und sich die elastischen Eigenschaften weniger rasch durch Fäulnis ändern.

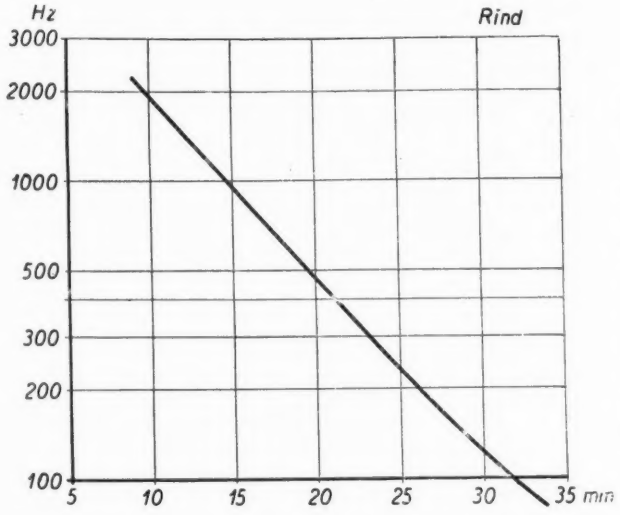



Abb. 14. Entfernung der verschiedenen Resonanzstellen von dem Beginn der Schneckentrennwand beim Rind

## 7. Elefant

Besonders glücklichen Umständen war es zu verdanken, daß auch der Kopf eines voll entwickelten Elefanten untersucht werden konnte.

Da das Gehirn eines Elefanten verhältnismäßig klein gegenüber den Abmessungen des Kopfes ist, so erreicht der Gehörgang die beträchtliche Länge von 18—20 cm. Der Durchmesser des nur schwach gekrümmten Gehörganges beträgt 1 cm und erweitert sich nur in der Nähe des Trommelfelles. Das elliptische Trommelfell hat eine Höhe von 3 und eine Breite von 2 cm. Der ganze Aufbau des Mittelohres weicht, abgesehen von den Abmessungen, nur wenig von den Verhältnissen beim Menschen ab. Auch der Steigbügel hat ganz die

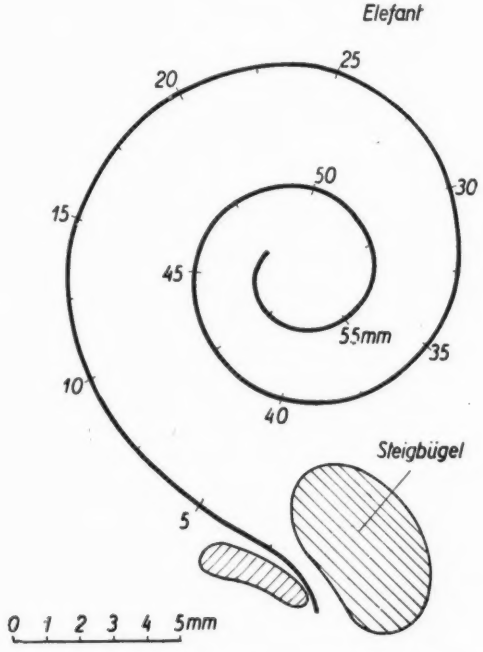



Abb. 15. Schneckenabmessungen des Elefanten

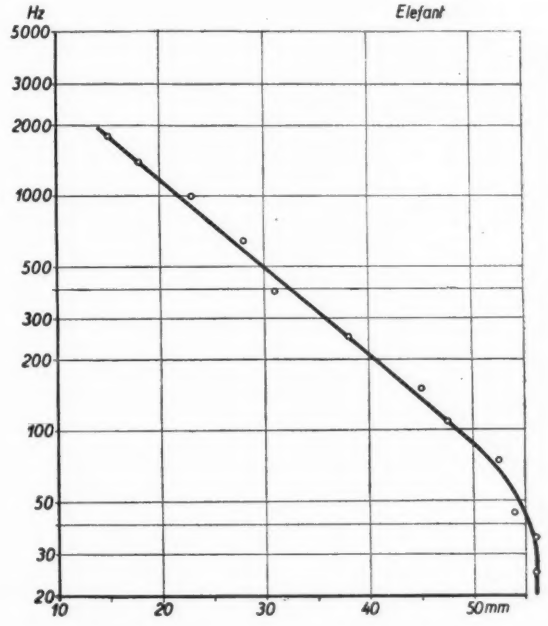



Abb. 16. Verteilung der Resonanzstellen längs der Schneckentrennwand für verschiedene Frequenzen beim Elefanten

bekannte Form, wobei der größere Durchmesser der elliptischen Fußplatte 5,3 mm und der kleinere 3,8 mm beträgt.

Die Abmessungen der Schnecke sind aus der Abb. 15 ersichtlich. Die Gesamtlänge der Schneckentrennwand beträgt fast 60 mm. Da die einzelnen Windungen verhältnismäßig weit voneinander liegen, kann die ganze Schnecke auf einmal auspräpariert werden. Einen sehr großen Zeitaufwand bedingt jedoch das vorsichtige Abschleifen der harten und fast zentimeterdicken Knochenwände.

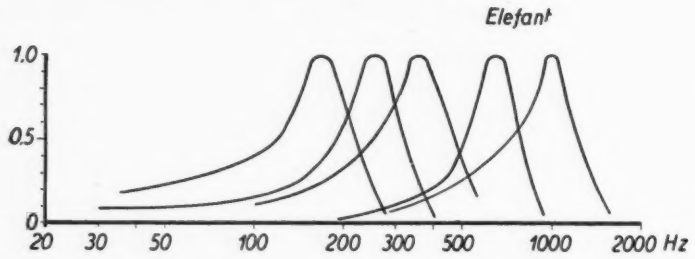


Abb. 17. Resonanzkurven der Elefantenschnecke

Die Verschiebung der Resonanzstelle längs der Basilarmembran bei den verschiedenen Tonhöhen zeigt die Abb. 16. Bis zu etwa 30 Hz kann bei einer Frequenzänderung eine Ortsänderung wahrgenommen werden. Aus den eingezeichneten Meßwerten ist ersichtlich, daß die meist bei jeder Windung sich periodisch wiederholenden Abweichungen von der durchgezogenen Kurve recht klein sind.

Außer der Seltenheit besitzt die Schnecke des Elefanten auch deshalb ein Interesse, da entsprechend den Messungen der Abb. 17 die Resonanzkurven des Elefanten unter allen untersuchten Tieren, die größte Resonanzschärfe aufweisen. Besonders oberhalb 500 Hz läßt sich die Verschiebung der Resonanzstelle bei einer Frequenzänderung mit bloßem Auge sehr gut verfolgen, da bei geeigneter Amplitudeneinstellung der sichtbar schwingende Teil der Schneckentrennwand nur einige Millimeter beträgt. Für 1000 Hz beträgt das logarithmische Dämpfungsdekrement

$$d = 0{,}9.$$

### 8. Vergleich der bei den verschiedenen Tieren vorhandenen mechanischen Frequenzauflösung

Da abgesehen vom Elefant die Schärfe der Resonanzkurven für sämtliche Tiere fast den gleichen Wert hatte, so kann die Verschiebung $\Delta l$ der Resonanzstelle längs der Schneckentrennwand bei einer gewissen prozentualen Frequenzänderung $\Delta n/n$ als Maß der mechanischen Frequenzauflösung angesehen werden. Diese mechanische Frequenztrennung

$$A = \frac{\Delta l}{\frac{\Delta n}{n}}$$

ist für die verschiedenen Tiere und Töne zum größten Teil aus den mitgeteilten Figuren in der Abb. 18 zusammengestellt worden.

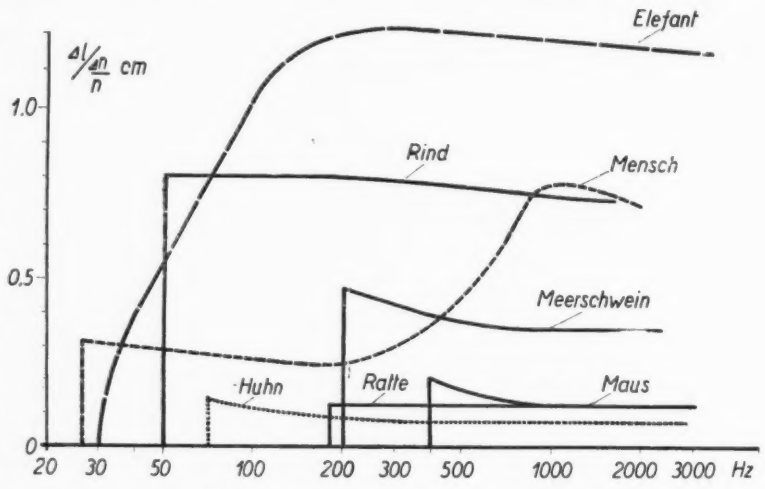


Abb. 18. Mechanische Frequenzauflösung bei den verschiedenen Tieren

Danach besitzt, wie zu erwarten war, das Haushuhn die am wenigsten entwickelte

Schnecke. Im ganzen nimmt mit der Größe des Tieres auch die mechanische Auflösungsfähigkeit zu, die bei den höheren Frequenzen frequenzunabhängig wird. Nur das menschliche Ohr bildet eine Ausnahme, denn hier erreicht bei 1000 Hz die Auflösung ein Maximum. Dies kann damit zusammenhängen, daß die Sprache in diesem Frequenzbereich die für ihre Verständlichkeit wichtigsten Frequenzkomponenten besitzt.

Die untere Hörgrenze in der Abb. 18 stellt jene Frequenz dar, bei der eine weitere Frequenzniedrigung keine Änderung der Amplitudenverteilung längs der Schneckentrennwand mehr ergibt. Da die Steifigkeit der Schneckentrennwand in der unmittelbaren Nähe des bei den verschiedenen Tieren untersucht. Als Maß der Membransteifigkeit diente jene Volumenverschiebung, in Kubikzentimeter gemessen, die bei einem einseitigen Überdruck von 1 cm Wassersäule durch einen 1 mm langen Abschnitt der Membran erzeugt wird. In der Abb. 19 ist die Volumenelastizität als Ordinate aufgetragen, während die Abszisse die Entfernung von Steigbügel in Millimetern angibt. Extrapoliert man auf die Membranlänge null, so zeigt die Abbildung, daß für alle Tiere die Volumenelastizität der Schneckentrennwand sich vom Steigbügel bis zum Membranende von etwa $10^{-9}$ bis auf $10^{-5}$ cm³ erhöht. Die Volumenelastizitätswerte unterhalb $10^{-8}$ ließen sich statisch nicht mehr gut ausmessen, da

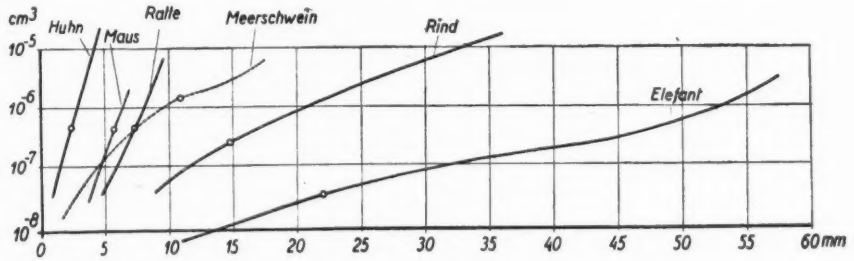



Abb. 19. Ortsabhängigkeit der Volumenelastizität der Schneckentrennwand bei den verschiedenen Tieren

Helicotremas oft etwas zunimmt, so wandern die Resonanzstellen nicht ganz bis an das Ende der Schneckentrennwand. Es ist daher die wirksame Länge der Schneckentrennwand etwas kleiner, als die wirkliche Länge.

Wie aus der Abb. 18 ersichtlich, verschiebt sich mit zunehmender Größe der Tiere die untere Hörgrenze nach den tiefen Frequenzen. Dies kann vielleicht damit in Zusammenhang gebracht werden, daß mit der Größe des Tieres sich auch die Reichweite des Ohres vergrößern muß. Breitet sich nun der Schall längs der Bodenfläche aus, so ist im allgemeinen die Schallabsorption für die tiefen Töne kleiner, als für die hohen, so daß eine Begünstigung der tieferen Töne zweckmäßig ist.

## 9. Über die Elastizität der Schneckentrennwand bei den verschiedenen Tieren

Außer den Resonanzstellen wurde auch noch die Ortsabhängigkeit der Membransteifigkeit durch die nötigen Druckdifferenzen die von Steigbügel entfernteren Teile der Trennwand zerstört werden.

Zum besseren Vergleich zwischen den verschiedenen Tieren wurde durch einen Kreis noch jene Volumenelastizität eingetragen, die an der Resonanzstelle für 1000 Hz auftrat. Es ergab sich nur bei den ganz kleinen Tieren der konstante Wert von $4{,}5 \cdot 10^{-7}$ cm³.

## Zusammenfassung

Es wird für verschiedene Tiere die Verschiebung der Resonanzstelle längs der Schneckentrennwand bei den verschiedenen Tönen untersucht und daraus auf den Hörbereich geschlossen, innerhalb dessen eine mechanische Tonhöhentrennung auftritt.

*(Eingegangen am 2. November 1943.)*

# Über den elektromagnetischen Antrieb von akustischen Kleinsignalsendern, insbesondere Weckern

Von A. Rechten

Mitteilung aus dem Zentrallaboratorium der Siemens & Halske A.-G., Berlin-Siemensstadt

(*Mit 22 Textabbildungen*)

Inhaltsübersicht

I. Der Antrieb von Signalsendern
1. Die einzelnen Antriebsarten für Schall- und Signalsender.
2. Das elektromagnetische Antriebssystem für Signalsender.
3. Die Untertypen des wechselseitigen Antriebs für gepolte elektromagnetische Systeme.

II. Die magnetischen und mechanischen Daten eines Fernsprechweckers.

III. Die Bewegungsgleichung des polarisierten zweiseitigen elektromagnetischen Antriebs.
1. Aufstellung der Bewegungsgleichung.
2. Lösung der Bewegungsgleichung für das untersuchte System .
3. Lösungsergebnisse.
4. Günstigste Kurvenform des antreibenden Wechselflusses.

IV. Der Einschwingvorgang des Ankers und Klöppels.
1. Aufstellung des elektrischen Ersatzschaltbildes für Anker und Klöppel.
2. Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der Ströme und Spannungen beim plötzlichen Einschalten einer zeitlich konstanten EMK.
3. Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der Ströme und Spannungen beim plötzlichen Einschalten einer mit der Zeit ansteigenden EMK.
4. Ermittlung der Weg-Zeit-Kurven für Anker und Schlaggewicht bei elastischem Klöppelstiel beim plötzlichen Einschalten einer mit der Zeit ansteigenden Kraft.
5. Der Umlegevorgang für Anker und Klöppel bei elastischem und starrem Klöppelstiel.

V. Experimentelle Ergebnisse.

VI. Zusammenfassung.
Anhang I (zu Abschnitt III, 2).
Anhang II (zu Abschnitt IV, 2).
Anhang III (zu Abschnitt IV, 3).

Akustische Kleinsignalsender dienen zur Übermittlung von Signalen innerhalb räumlich begrenzter Gebiete, wie etwa Wohnungen, Gebäudeteilen u. dgl. Sie haben in verschiedenen Formen und Ausführungsarten ein weites Verbreitungsgebiet gefunden; so enthalten z. B. alle Fernsprechgeräte einen Wecker, ferner sei an die Wecker, Schnarren und Hupen im Eisenbahnbetrieb, auf Schiffen, in Bergwerken und in Warnanlagen erinnert.

Fast alle diese Geräte besitzen einen elektromagnetischen Antrieb. Hierfür liegen verschiedene Gründe vor. Einmal sollen die Geräte, da sie meist immer in größeren Mengen verwendet werden, billig und einfach zu fertigen sein; ferner sollen sie im Betriebe schon bei kleinen zugeführten elektrischen Leistungen eine möglichst große akustische Leistung abgeben. Vielfach wird hierbei die zugeführte elektrische Leistung in weiten Grenzen schwanken, ohne daß das Gerät versagen darf. Bei Wechselstromgeräten kommt noch hinzu, daß die Antriebsfrequenz verschiedene Werte haben kann, wenn sie auch in der Regel zwischen etwa 15 und 50 Hz liegt. Dies darf ebenfalls kein Versagen des Gerätes zur Folge haben. Da der Signalsender häufiger in andere, zum Teil tragbare Geräte eingebaut ist, muß er klein und leicht sein. Der Gesamtheit dieser Anforderungen genügt der Signalsender mit elektromagnetischem Antrieb am besten.

Etwas abweichend hiervon sind die Anforderungen für akustische Großsignalsender. Hier sollen die Signale im Freien über möglichst große Entfernungen wahrnehmbar sein. Das Klangspektrum dieser Sender liegt daher tiefer, weil der Schall dann weniger gedämpft wird. Bei den für kleine Entfernungen vorgesehenen Kleinsignalsendern spielt die Luftdämpfung noch keine Rolle, wohl aber der Lärm in der Umgebung, dagegen herrscht am Empfangsort der Signale von Großsignalsendern durchweg

kein größerer Lärm. Kleinsignalsender haben daher meistens ein zu höheren Frequenzen hin verschobenes Klangspektrum. Der Großsignalsender muß weiterhin einen hohen Wirkungsgrad bei hohen zugeführten elektrischen Leistungen haben; Schwankungen dieser Leistungen sowie der Antriebsfrequenz sind in wesentlich geringerem Umfange zu erwarten als beim Kleinsignalsender. Für das Gewicht und die Abmessungen gelten nicht die gleichen Beschränkungen wie beim Kleinsignalsender. Unter diesen Umständen erweist sich der elektromagnetische Antrieb nicht als unbedingt den andern überlegen, und es haben sich daher in der Praxis eine Reihe verschiedenartigster Ausführungsformen für den Großsignalsender eingebürgert.

In den folgenden Ausführungen wird der elektromagnetische Wechselstromantrieb von Kleinsignalsendern einer näheren Betrachtung unterzogen. Dieser ist nämlich gegenüber dem Gleichstromantrieb als der technisch wichtigere anzusehen, was schon darin zum Ausdruck kommt, daß in fast allen Fernsprechanlagen der Ruf mit Wechselstrom erfolgt. Das Antriebssystem ist hierbei als wechselseitiger gepolter Antrieb ausgebildet; im Gegensatz zu den heute üblichen elektromagnetischen Schallsendern, die meist einen einseitigen gepolten Antrieb aufweisen. Aber auch diejenigen Schallsender, die mit einem wechselseitigen Antrieb ausgerüstet sind, weichen in ihren Betriebsbedingungen doch derart von den Signalsendern ab, daß es notwendig ist, diese einer gesonderten Betrachtung zu unterziehen.

## I. Der Antrieb von Signalsendern

### *1. Die einzelnen Antriebsarten für Schall- und Signalsender*

Für Schall- und Signalsender können grundsätzlich die gleichen Antriebsarten benutzt werden, nämlich:

a) der elektrodynamische Antrieb
b) der elektromagnetische Antrieb
c) der magnetostriktive Antrieb
d) der dielektrische Antrieb
e) der piezoelektrische Antrieb.

Von diesen scheiden praktisch die letzten drei sofort aus, wie sich aus einer vergleichenden Betrachtung ergibt, die Hecht (1) in seinem Buch: „Die elektroakustischen Wandler" für die einzelnen Senderantriebe angestellt hat. Es zeigt sich hierbei, daß der magnetostriktive Antrieb bei Frequenzen unterhalb von etwa 10000 Schwingungen in der Sekunde zu praktisch nicht mehr tragbaren Abmessungen führt. Der dielektrische und piezoelektrische Antrieb dagegen eignen sich nicht für die Erzeugung großer Amplituden, wie sie für einen Signalsender mit tiefer Antriebsfrequenz benötigt werden. Beim ersten würde bei großen Amplituden der Wirkungsgrad zu schlecht werden, beim zweiten der Kristall über seine Elastizitätsgrenze hinaus beansprucht werden und zu Bruch gehen. Man kann aber bei einem Kleinsignalsender nicht zu einer hohen Antriebsfrequenz übergehen, denn einmal wird diese vielfach mit Hilfe eines Kurbelinduktors von Hand erzeugt, zum andern steigt die Leitungsdämpfung auf den Verbindungen zwischen Stromerzeuger und den einzelnen Sendern mit der Frequenz an, so daß die für den Antrieb zur Verfügung stehende Leistung bei hohen Frequenzen zu gering werden würde.

Aber auch gegen den elektrodynamischen Antrieb für Kleinsignalsender sprechen verschiedene Gründe. Einmal muß der Sender meistens hochohmig sein, besonders dann, wenn er zusammen mit Fernsprecheinrichtungen betrieben wird. Hier liegt er nämlich in der Regel zum Mikrophon und Telephon parallel und verringert also sowohl die Sende- als auch die Empfangsleistung, wenn sein Widerstand nicht hinreichend groß im Verhältnis zu dem der Mikrophone und Telephone ist. Wie aber aus der Lautsprechertechnik bekannt ist, kann man ein dynamisches System für tiefe Frequenzen nicht hochohmig bauen, ohne dabei den Wirkungsgrad beträchtlich herabzusetzen. Es wäre also als zusätzliches Bauelement ein Übertrager notwendig, um das niederohmige System hochohmig in die Leitung einzuführen.

Der Vorteil jedoch, den ein dynamischer Schallsender gegenüber einem magnetischen hat, nämlich daß das mechanisch bewegliche

System eine tiefe Eigenresonanz haben kann und damit zur Übertragung tiefer Frequenzen gut geeignet ist, fällt beim Signalsender fort. Da bei diesem nichtlineare Verzerrungen nicht vermieden zu werden brauchen, kann er ohne weiteres tief abgestimmt sein, oder die elastischen Rückstellkräfte können vollkommen fehlen, so daß das System dann gar keine Eigenresonanz hat.

Diese und andere Gründe, die z. T. herstellungstechnischer Art sind und deren Aufzählung hier zu weit führen würde, sind maßgebend dafür, daß als Antrieb für Signalsender in erster Linie das elektromagnetische Antriebssystem benutzt wird.

### 2. *Das elektromagnetische Antriebssystem für Signalsender*

Das Grundgesetz für den elektromagnetischen Antrieb leitet sich aus den Hauptsätzen der Elektrodynamik her und lautet:

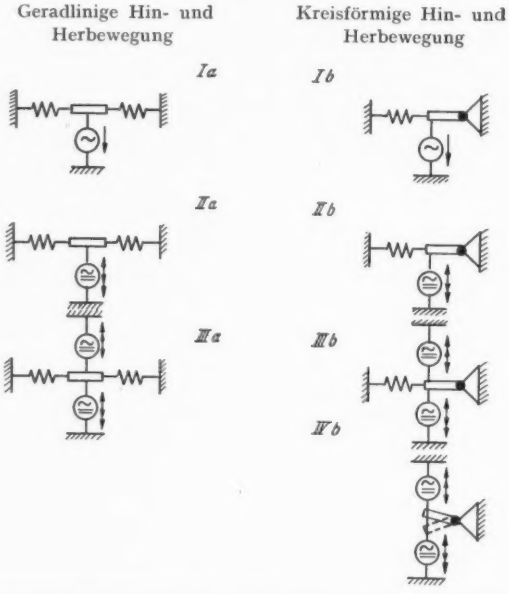
$$\mathfrak{K} = \frac{K \Phi^2}{F} \tag{1}$$

oder in Worten ausgedrückt: Fließt im Luftspalt eines magnetischen Kreises der Fluß $\Phi$, so ist die anziehende Kraft $\mathfrak{K}$ zwischen den Begrenzungsflächen $F$ des Luftspaltes durch obige Beziehung gegeben. $K$ ist eine Konstante. Vorausgesetzt hierbei ist, daß die magnetischen Kraftlinien innerhalb des Luftspaltes verlaufen. Dies trifft nicht vollkommen zu, und die Kraft ist daher meistens etwas geringer als es die Gleichung angibt.

Diese Kraft wird nun auf die verschiedenartigste Weise zum Antrieb von Signalsendern benutzt. Die Bewegung, die sie hierbei zur Anregung der Klangkörper auslöst, ist eine Hin- und Herbewegung; das Teil, das unter dem Einfluß der magnetischen Kräfte diese Bewegung vollzieht und die Umsetzung in akustische Schwingungen einleitet, heißt der Anker. Man muß also das Antriebssystem so aufbauen, daß durch Zuführen einer elektrischen Leistung in dem irgendwie gestalteten magnetischen Kreis ein Fluß entsteht, der die Hin- und Herbewegung des Ankers bewirkt.

Bei den hier nicht näher betrachteten Gleichstromsendern entsteht die erste Bewegung in der einen Richtung durch den Gleichfluß. Diese Bewegung öffnet kurz nach ihrem Einsetzen den Antriebsstromkreis, die Kraftwirkung hört auf und eine Rückstellkraft zieht den Anker wieder in seine Ausgangslage zurück. Hierdurch wird der Strom wieder eingeschaltet und der Vorgang beginnt von neuem.

Beim Wechselstromantrieb fällt diese Unterbrechung fort; ein Wechselstromsender arbeitet




| Nr. | System | Ankerlagerung | Antrieb |
|---|---|---|---|
| I a, b | unpolarisiert | elastisch | einseitig |
| II a, b | polarisiert | ,, | ,, |
| III a, b | ,, | ,, | wechselseitig |
| IV b | ,, | nachgiebig | ,, |

Abb. 1. Elektromagnetische Antriebssysteme

also ohne Kontakte. Allgemein wird hier zwischen gepolten und ungepolten Systemen unterschieden (siehe hierzu Abb. 1).

Bei den ungepolten Systemen wird der gesamte Fluß durch die zugeführte Wechselleistung hervorgerufen. In jeder Halbperiode wird der Anker durch die Kraft in der gleichen Richtung bewegt und, wenn der Fluß durch Null geht, durch eine Rückstellkraft wieder in seine Ursprungslage gebracht. Es tritt also eine Fre-

quenzverdoppelung ein. Als Antrieb für Kleinsignalsender sind ungepolte Systeme nicht geeignet, da bei kleinen Flüssen die bewegende Kraft zu klein ist.

Bei gepolten Systemen ist ein dauernder Gleichfluß, meist durch einen Dauermagneten hervorgerufen, vorhanden. Diesem Gleichfluß überlagert sich der durch die zugeführte Wechselleistung hervorgerufene Wechselfluß, und aus dem Zusammenwirken beider ergibt sich die den Anker bewegende Kraft. Die Systeme sind so ausgebildet, daß sich in jeder Halbperiode die Richtung der Kraft umkehrt; eine Frequenzverdoppelung tritt also nicht ein.

Gepolte elektromagnetische Systeme sind als Antrieb sowohl für Kleinsignalsender als auch für Großsignalsender geeignet. Wenn trotzdem für Großsignalsender vielfach ungepolte Systeme benutzt werden, so hat dies seinen Grund darin, daß für die Erzeugung der hierfür notwendigen großen Gleichflüsse dem System noch eine Gleichstromleistung zugeführt werden müßte. Da dies beim ungepolten Sender fortfällt, ist hier die Stromversorgung einfacher.

Die gepolten elektromagnetischen Systeme kann man wieder in zwei Klassen unterteilen, nämlich Systeme, die den Anker einseitig antreiben, und solche, die ihn wechselseitig antreiben.

Der einseitige gepolte Antrieb ist für Systeme geeignet, bei denen die Auslenkungen des Ankers klein im Verhältnis zum Luftspalt sind. Der Anker wird durch elastische Kräfte in seiner Ruhelage gehalten. Im Betriebe führt er dann symmetrische Bewegungen um seine Ruhelage aus, deren Amplituden zu denen des antreibenden Wechselflusses in einem festen Verhältnis stehen. Als Antrieb für Signalsender ist das System nicht gut geeignet, da die Ankergeschwindigkeiten infolge der elastischen Hemmung für die Erzeugung eines lauten Signals zu klein sind, und das System nur in der Eigenresonanz des Ankers größere Amplituden hat.

Beim wechselseitigen Antrieb wirken die bewegenden Kräfte abwechselnd in entgegengesetzten Richtungen drehend auf den Anker ein. Man kann hierbei grundsätzlich den Anker sowohl elastisch mit einer festen Ruhestellung als auch vollkommen nachgiebig mit zwei festen Ruhestellungen lagern. Im ersten Falle können nichtlineare Verzerrungen weitgehend vermieden werden, so daß die Ankergeschwindigkeit dem Wechselfluß proportional ist.

Bei vollkommen nachgiebiger Lagerung sind die beiden Ruhestellungen durch die Anschläge des Ankers an den Begrenzungsflächen der Luftspalte gegeben. Es besteht bei dieser Ausführung eine Ansprechgrenze, d. h. erst von einem gewissen Mindestwert der zugeführten Leistung ab fängt der Anker an, sich von einer Ruhestellung in die andere zu bewegen. Der Anker legt in jeder Halbperiode um, und es besteht keine lineare Beziehung zwischen antreibendem Wechselfluß und Umlegegeschwindigkeit. Diese Zusammenhänge werden später noch eingehender erörtert.

Diese Ausführung, nämlich der gepolte elektromagnetische wechselseitige Antrieb mit vollkommen nachgiebiger Lagerung des Ankers wird hauptsächlich für Kleinsignalsender benutzt. Zwischen dem Anker und dem abstrahlenden Organ besteht keine starre Verbindung, sondern der Sender ist als Schlagsender ausgebildet, d. h. während der Zeit, wo sich der Anker in der jeweiligen Ruhestellung befindet, schlägt ein am Anker befindlicher Klöppel mit seinem Schlaggewicht beim Durchfedern an einen Klangkörper und bringt diesen zum Tönen. Der Klangkörper schwingt dann gedämpft aus und wird nach einer weiteren Periode durch einen erneuten Klöppelschlag zu weiteren Schwingungen angeregt. Der Anker führt kreisförmige Hin- und Herbewegungen aus (siehe Abb. 1), weil es hierbei in einfacher Weise möglich ist, durch Wahl eines längeren Klöppelstiels den Weg des Schlaggewichts gegenüber dem des Ankers noch um ein Mehrfaches zu vergrößern. Dies ist aus praktischen Gründen vielfach erwünscht, da sich dann die Klangkörper leichter einstellen lassen.

Die wesentlichen Eigenschaften des wechselseitigen Antriebs erkennt man am besten, wenn man die Bewegungsgleichung hierfür aufstellt und näher untersucht. Bevor wir dies tun, wollen wir die verschiedenen Untertypen des wech-

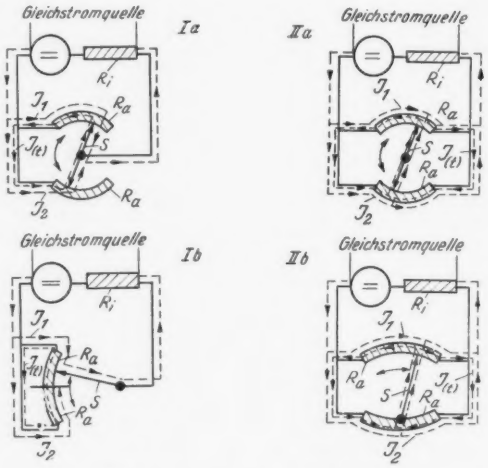
selseitigen Antriebs noch einer kurzen Betrachtung unterziehen.

### *3. Die Untertypen des wechselseitigen Antriebs für gepolte elektromagnetische Systeme*

Die mannigfaltigen Ausführungen des wechselseitigen Antriebs unterscheiden sich hauptsächlich durch die Art, in der der Anker in dem magnetischen Kreis angeordnet ist. Einen Überblick gewinnt man am besten anhand eines elektrischen Vergleichsbildes, bei dem an Stelle des Dauermagneten eine Gleichstromquelle und an Stelle der Luftspalte Widerstände eingesetzt sind (siehe hierzu Abb. 2a). Das Schaltbild, von dem man dann ausgeht, besteht aus einer Stromquelle, die auf zwei parallelgeschaltete Widerstände gleicher Größe arbeitet. (Beim einseitigen Antrieb würde es sich um einen Widerstand, auf den die Stromquelle arbeitet, gehandelt haben.) Zwei Punkte dieser Widerstände sind durch einen starren Bügel verbunden, der den Anker nachbildet. Dieser Bügel ist drehbar gelagert und kann mit seinen Enden auf den Widerständen hin- und herschleifen und zwar so, daß, während sich der eine Widerstand um einen bestimmten Betrag verkleinert, der andere sich um denselben Betrag vergrößert. Derartige Drehbewegungen des Schleifbügels ändern daher nicht den Gesamtgleichstrom, sondern rufen nur Stromschwankungen innerhalb derjenigen Stromzweige hervor, die in den Skizzen als Wechselstromkreise angedeutet sind.

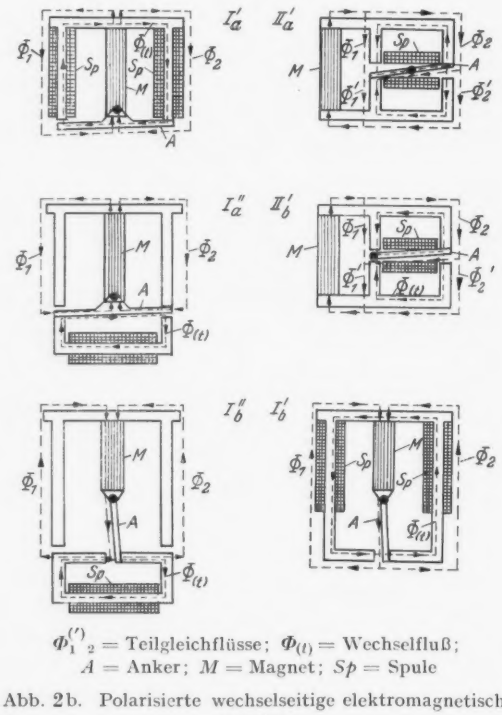
Die einzelnen Untertypen ergeben sich aus der Anordnung des Schleifdrahtes zu den Widerständen. Bei den Ausführungen nach Skizze Ia und Ib verbindet der Schleifdraht die auf den Widerständen abgegriffenen Punkte direkt mit der Gleichstromquelle. Bei den Schaltbildern nach Skizze IIa und IIb hat der Schleifdraht selbst keine unmittelbare Verbindung mit der Gleichstromquelle, sondern ist in der Mitte der beiden Widerstände angebracht.

Bei den hieraus abgeleiteten gepolten elektromagnetischen Antrieben (siehe Abb. 2b) treten an die Stelle der Ströme die entsprechenden Flüsse und an die Stelle des Schleifbügels der Anker. Damit der Anker sich bewegt, muß noch im Wechselflußkreis ein zusätzlicher Wechselfluß überlagert werden, was mit Hilfe der in den Skizzen angedeuteten Spulen geschieht. In




$R_{i,a}$ = Widerstände; $J_{1,2}$ = Teilgleichströme; $J_{(t)}$ = Wechselstrom; $S$ = Schleifbügel

Abb. 2a. Elektrische Vergleichsbilder für polarisierte wechselseitige elektromagnetische Antriebe




$\Phi_{1\,2}^{(\prime)}$ = Teilgleichflüsse; $\Phi_{(t)}$ = Wechselfluß; $A$ = Anker; $M$ = Magnet; $Sp$ = Spule

Abb. 2b. Polarisierte wechselseitige elektromagnetische Antriebe

einigen Fällen ist es dabei zweckmäßig, für den Wechselfluß noch einen Nebenschluß mit besserer Wechselleitfähigkeit an geeigneter Stelle einzufügen; dies hat eine weitere Unterteilung der Typen zur Folge.

Die Ausdrücke für die bewegenden Kräfte für die Antriebe nach Abb. 2b sind von der gleichen Form und lauten:

$$\mathfrak{K} = K\left\{\frac{(\Phi_1 - \Phi(t))^2}{F_1} - \frac{(\Phi_2 + \Phi(t))^2}{F_2}\right\} \tag{2}$$

für die Systeme nach I, und:

$$\mathfrak{K} = K\left\{\frac{(\Phi_1 - \Phi(t))^2 + (\Phi_2' - \Phi(t))^2}{F_1} - \frac{(\Phi_1' + \Phi(t))^2 + (\Phi_2 + \Phi(t))^2}{F_2}\right\} \tag{3}$$

für die Systeme nach Ausführung II, weil hier an beiden Ankerenden ein Drehmoment auf den Anker ausgeübt wird. Hierin ist:

$\Phi(t)$ = Wechselfluß,

$\Phi_{1,2}'$ = Teilgleichflüsse in den beiden Zweigen,

$F_{1,2}$ = wirksame Luftspaltbegrenzungsflächen.

Die Größe der beiden Teilgleichflüsse $\Phi_1'$ und $\Phi_2'$ hängt z. T. von der jeweiligen Stellung des Ankers ab, zum anderen Teil von der Größe der anderen magnetischen Widerstände im Gleichflußkreis. Diese setzen sich zusammen aus dem inneren Widerstand des Magneten und den Zusatzwiderständen im Gleichflußkreis. Die Zusatzwiderstände dienen dazu, den Gesamtgleichfluß während der Ankerbewegung konstant zu halten. Ihre Werte sind numerisch bestimmbar. Für die weiteren Überlegungen benötigt man jedoch nicht alle diese Größen im einzelnen, sondern es genügt, wenn man den Verlauf der Teilgleichflüsse in Abhängigkeit von der Ankerstellung kennt. Die beiden Endwerte der Teilgleichflüsse sind experimentell nach bekannten Methoden leicht meßbar. Unter der Voraussetzung, daß die anderen Widerstände genügend hoch sind — eine Annahme, die man im vorliegenden Falle machen darf — ergibt sich, daß sich beim Durchlaufen des Arbeitsluftspaltes der Fluß direkt mit dem Wege ändert.

Etwas umständlicher ist die Ermittlung des Verlaufs der Luftspaltbegrenzungsflächen in Abhängigkeit von der Ankerstellung. Wir wollen sie als wirksame Flächen bezeichnen, weil sie nur Rechengrößen darstellen und als die Flächen gedeutet werden können, die von allen wirksamen Kraftlinien gleichmäßig dicht durchsetzt werden, während diese in Wirklichkeit auch außerhalb des Luftspaltes verlaufen. Da sich bei kleinen Luftspalten die Kraftlinien mehr im Luftspalt zusammendrängen, bei großen zum wachsenden Teil außerhalb desselben verlaufen, ist es klar, daß die wirksamen Endflächen bei kleinen Luftspalten kleiner sind als bei großen. Die wirksamen Flächen lassen sich experimentell für die beiden Ruhestellungen des Ankers bestimmen; bei kleinen Ankerhüben, wie sie praktisch vorkommen, kann man annehmen, daß die Änderung der wirksamen Endfläche linear mit dem Ankerweg geht.

Für den Wechselfluß besteht eine Abhängigkeit von der Ankerstellung nicht, da ja, wie schon erwähnt, für diesen die beiden Luftspalte in Reihe geschaltet sind.

Bei der Wahl eines dieser Antriebssysteme für einen Signalgeber spielen neben der Frage nach der zweckmäßigsten Bemessung der elektrischen und magnetischen Größen auch konstruktive und fertigungstechnische Gesichtspunkte eine Rolle, so daß nicht von vornherein gesagt werden kann, diese oder jene Anordnung sei die günstigste. Wenn daher im folgenden eine dieser Anordnungen in ihrer Wirkungsweise näher untersucht werden soll, so deshalb, weil sie im praktischen Betrieb eine außerordentlich weite Verbreitung gefunden hat. Alle für den Bewegungsvorgang gemachten Feststellungen können jedoch in sinngemäßer Weise nach dem oben Gesagten auf die anderen Anordnungen übertragen werden.

## II. Die magnetischen und mechanischen Daten eines Fernsprecherweckers

(Bei dem zu betrachtenden Signalsender handelt es sich um den Wecker der Tischstation W 28 der Deutschen Reichspost mit der Typenbezeichnung Fg wck 7, Ausführung: Siemens & Halske.) Der Aufbau des Systems geht aus der beigefügten Skizze hervor (Abb. 3). Das System hat die Form eines großen lateinischen E; der mittlere Schenkel wird vom Magneten gebildet,

während die beiden äußeren Schenkel die Wicklungen tragen, die den Wechselfluß erzeugen. An dem freien Magnetende drehbar gelagert befindet sich der Anker, dessen Enden den beiden

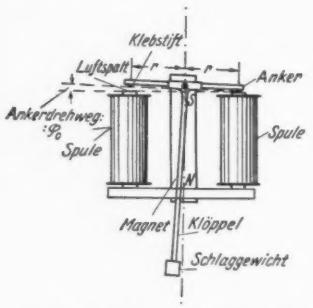



Abb. 3. System des Weckers der Tischstation W 28. (Fg wck 7)

äußeren Schenkelenden gegenüber stehen. Die Ankerenden tragen Klebstifte, und im Ruhezustand liegt ein Ankerende mit dem Klebstift auf einem der beiden Schenkelenden auf. (Klebstifte sind Zwischenstücke aus unmagnetischem Material, die die Anziehungskraft zwischen Anker und Polschuh herabsetzen, d. h. ein zu starkes Kleben verhindern sollen.) Der Gleichfluß teilt sich über den Anker in zwei Richtungen auf, durchsetzt die beiden äußeren Schenkel und vereinigt sich wieder am anderen Magnetende. Die beiden Spulen für die Erzeugung des Wechselflusses sind in Reihe geschaltet; der Wechselfluß schließt sich also über den Anker, die beiden äußeren Schenkel und den Steg, ohne den Magneten zu durchsetzen. In dem einen der Luftspalte haben in jedem Augenblick Gleich- und Wechselfluß die gleiche, in dem anderen Luftspalt die entgegengesetzte Richtung. Ist das resultierende Drehmoment auf den Schenkel gerichtet, an dem der Anker anliegt, so bleibt der Anker in Ruhe; im anderen Falle legt er in die andere Ruhestellung um.

Messung der wirksamen Fläche für Fg wck 7: für einen bestimmten Hub werden die Teilflüsse und Umlegekräfte gemessen. Man hat dann nach der Gleichung

$$\mathfrak{K}_{12} = K\left(\frac{\Phi_1^2}{F_1} - \frac{\Phi_2^2}{F_2}\right) \tag{4}$$

eine Beziehung zwischen den beiden Unbekannten $F_1$ und $F_2$. Indem man in entsprechender Weise noch mit zwei anderen Hüben je eine Beziehung zwischen $F_3$ und $F_1$ sowie zwischen $F_3$ und $F_2$ aufstellt, hat man drei Gleichungen mit 3 Unbekannten, aus denen sich $F_1$, $F_2$ und $F_3$ ermitteln lassen. Man kann auf diese Weise gleichzeitig feststellen, ob die wirksamen Flächen linear mit dem Luftspalt wachsen.

Für das Antriebssystem des Fg wck 7 ergaben sich in Abhängigkeit vom Ankerhub für das Verhältnis der Teilgleichflüsse, der wirksamen Endflächen und für die am Ankerende gemessene Umlegekraft die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Werte.

Tabelle

| Hub mm | $F_2/F_1$ | $\Phi_1/\Phi_2$ | Umlegekraft (in g) |
|---|---|---|---|
| $2 \cdot 0{,}25$ | 1,44 | 1,30 | $0{,}95 \cdot 10^{-4}\ \Phi_2^2$ |
| $2 \cdot 0{,}30$ | 1,53 | 1,35 | $1{,}12 \cdot 10^{-4}\ \Phi_2^2$ |
| $2 \cdot 0{,}35$ | 1,62 | 1,41 | $1{,}32 \cdot 10^{-4}\ \Phi_2^2$ |
| $2 \cdot 0{,}40$ | 1,71 | 1,46 | $1{,}49 \cdot 10^{-4}\ \Phi_2^2$ |
| $2 \cdot 0{,}45$ | 1,80 | 1,53 | $1{,}71 \cdot 10^{-4}\ \Phi_2^2$ |

(Der Fluß $\Phi_2$ ist in Maxwell einzusetzen.)

$F_1$ ist 0,43 cm² groß; der Teilgleichfluß im Luftspalt kann je nach Aufmagnetisierung Werte zwischen etwa 100 und 600 Maxwell annehmen.

Die im Normalfall benutzten Werte sind: Hub $= 2 \cdot 0{,}3$ mm. Umlegekraft (am Ankerende gemessen) 30 g und Teilgleichflüsse: $\Phi_2 = 525$ Maxwell und $\Phi_1 = 700$ Maxwell. Das Trägheitsmoment des Ankers und Klöppels ist 79,6 g · cm². Die Eigenfrequenz des Klöppels beträgt 100 . . . 110 Hz, sein Dämpfungsdekrement $d = 0{,}20$.

## III. Die Bewegungsgleichung des polarisierten zweiseitigen elektromagnetischen Antriebs

### *1. Aufstellung der Bewegungsgleichung*

Die Ausgangsgleichung lautet:

$$\Theta \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} = M\,. \tag{5}$$

Die Gleichung weicht von der allgemeinen Form insofern ab, als die Reibung vernachlässigbar klein und daher nicht berücksichtigt worden ist und die elastische Kraft fehlt.

$\Theta$ ist das Massenträgheitsmoment von Anker und Klöppel.

$\frac{d^2\varphi}{dt^2}$ ist die Winkelbeschleunigung von Anker und Klöppel. Ferner ist $M$ das Drehmoment $= r(\mathfrak{K}_1 + \mathfrak{K}_2)$.

$r$ der Hebelarm der am Anker angreifenden Kräfte $\mathfrak{K}_1$ und $\mathfrak{K}_2$. Der Klöppel wird hierbei als vollkommen starr angenommen.

Nach den Ausführungen der vorigen Abschnitte ergibt sich:

$$(6) \qquad \mathfrak{K}_{12} = K \frac{(\Phi_{12} \cdot b_{12}(\varphi) \pm \Phi(t))^2}{F_{12} \cdot a_{12}(\varphi)}.$$

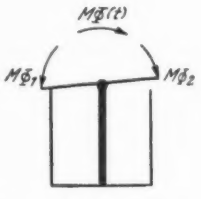
Hierin bedeuten: $\Phi_{12}$ die beiden Teilgleichflüsse, $b_{12}(\varphi)$ und $a_{12}(\varphi)$ lineare Funktionen des Weges, die die Abhängigkeit der Teilgleichflüsse und wirksamen Endflächen von der Ankerstellung angeben.

Die vollständige Bewegungsgleichung lautet also:

$$(7) \quad \Theta \frac{d^2\varphi}{dt^2} = rK \left\{ \frac{(\Phi_1 b_1(\varphi) - \Phi(t))^2}{F_1 a_1(\varphi)} - \frac{(\Phi_2 b_2(\varphi) + \Phi(t))^2}{F_2 a_2(\varphi)} \right\}.$$

Diese Differentialgleichung läßt sich auf einfache Weise nur mit Hilfe eines Näherungsverfahrens lösen. Irgendwelche Vernachlässigungen können in ihr nicht getroffen werden, weil sonst die charakteristischen Eigentümlichkeiten des Bewegungsvorganges nicht mehr in Erscheinung treten würden.

An Hand der Bewegungsgleichung läßt sich ein Überblick über den Arbeitsbereich des Antriebssystems in Abhängigkeit von Gleich- und Wechselfluß gewinnen. Betrachten wir zunächst die Abhängigkeit vom Wechselfluß und setzen wir für diesen einen periodischen, sinusförmigen Verlauf voraus (siehe hierzu Abb. 4). Für $t = 0$ sei $\Phi(t)$ auch gleich Null. Dann ist der Klammerausdruck auf der rechten Seite der Bewegungsgleichung positiv, das Drehmoment in der Darstellung nach Abb. 4 also linksdrehend und der Anker in Ruhe. Erst wenn von einem bestimmten $\Phi(t)$-Wert ab der Klammerausdruck negativ und damit das Drehmoment rechtsdrehend wird, kann sich der Anker abheben. Diesen Wert von $\Phi(t)$, für den dies eintritt, erhält man, wenn man den Klammerausdruck von Gl. (7) gleich Null setzt und nach $\Phi(t)$ auflöst. Es ergibt sich für $\Phi(t)$ eine Gleichung zweiten Grades mit den Wurzeln:




$\Phi_{1,2}$ = Teilgleichflüsse; $\Phi(t)$ = Wechselfluß

Abb. 4. Drehmomentenrichtung des Antriebssystems

$$(8) \qquad \Phi(t)_{12} = \frac{\Phi_1 b_1(\varphi) \mp \Phi_2 b_2(\varphi) \cdot \sqrt{\frac{F_1 \cdot a_1(\varphi)}{F_2 \cdot a_2(\varphi)}}}{1 + \sqrt{\frac{F_1 \cdot a_1(\varphi)}{F_2 \cdot a_2(\varphi)}}}.$$

Vor dem Umlegen ist:

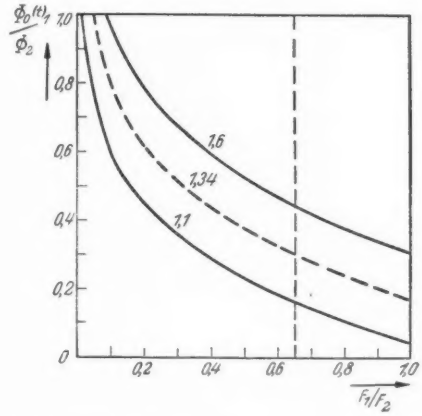
$$a_1(\varphi) = a_2(\varphi) = b_1(\varphi) = b_2(\varphi) = 1$$

und es wird:

$$(9) \qquad \Phi_0(t)_{12} = \frac{\Phi_1 \mp \Phi_2 \sqrt{\frac{F_1}{F_2}}}{1 + \sqrt{\frac{F_1}{F_2}}} = \frac{\Phi_2 \left( \frac{\Phi_1}{\Phi_2} \mp \sqrt{\frac{F_1}{F_2}} \right)}{1 + \sqrt{\frac{F_1}{F_2}}}.$$

Der Klammerausdruck in (7) ist nur solange negativ und damit das Drehmoment rechtsdrehend, als der Wert von $\Phi(t)$ zwischen $\Phi(t)_1$ und $\Phi(t)_2$ liegt. Ein Abheben erfolgt bei periodischem Verlauf von $\Phi(t)$, sobald der Wert $\Phi_0(t)_1$ überschritten ist.

Aus Gl. (9) folgt, daß für ein gegebenes System der Ansprechwechselfluß dem Gleichfluß direkt proportional ist. In welcher Weise der Betrag von $\Phi_0(t)_1$ vom Verhältnis der Teilgleich-




$\Phi_0(t)_1$ = Ansprechwechselfluß; $\Phi_{1,2}$ = Teilgleichflüsse; $\Phi_1/\Phi_2$ = Parameter der Darstellung; $F_{1,2}$ = wirksame Endflächen

Abb. 5. Ansprechwechselfluß in Abhängigkeit von den Teilgleichflüssen und Endflächen

flüsse und dem Verhältnis der wirksamen Endflächen abhängt, geht aus der Darstellung in Abb. 5 hervor. $\Phi_0(t)_1$ wird um so kleiner, je weniger sich sowohl die Teilgleichflüsse als auch die wirksamen Endflächen voneinander unterscheiden. Die Quotienten $\Phi_1/\Phi_2$ und $F_1/F_2$ hängen vom Aufbau der magnetischen Kreise ab und können nur in begrenztem Maße verändert werden. Der in Abb. 5 wiedergegebene Bereich dürfte die praktisch erzielbaren Grenzen darstellen. Es muß stets $F_2 > F_1$ und $\Phi_2 < \Phi_1$ sein. Die gestrichelt gezeichneten Kurven gelten für den Wecker Fg wck 7; ihr Schnittpunkt gibt den für dieses System in Frage kommenden Wert von $\Phi_0(t_1)/\Phi_2$ an.

Für ein einwandfreies Arbeiten des Signalsenders genügt es nicht, daß der Anker abhebt. Hierzu ist vielmehr weiterhin notwendig, daß das Umlegen innerhalb einer gewissen Mindestzeit geschieht. Diese Mindestzeit ist dadurch gegeben, daß der Anker, nachdem er umgelegt hat, solange in Ruhe bleiben muß, bis der Klöppel durchgeschwungen und den Klangkörper berührt hat. Ihr Betrag ist also: $\frac{1}{2}(T_0 - t_0)$, wobei $T_0$ die Schwingungsdauer der Antriebsfrequenz und $t_0$ die Schwingungsdauer des Klöppels ist.

Wird im Verlaufe des Umlegevorganges bei ansteigendem Wechselfluß der Wert $\Phi(t)_2$ überschritten, so kehrt sich die Richtung des Drehmoments um. Dies stört nicht, wenn der Anker bereits den größten Teil seines Weges durchlaufen hat. Ist jedoch die Amplitude des Wechselflusses sehr groß im Verhältnis zum Gleichfluß, so überschreitet $\Phi(t)$ diesen kritischen Wert schon kurz nach dem Einsetzen der Bewegung. Der Anker hebt dann zwar ab, kehrt aber, nachdem er ein kurzes Wegstück durchlaufen hat, wieder in seine Ausgangslage zurück. Er pendelt also nur vor einem Polschuh hin und her. Hierdurch ergibt sich eine weitere Begrenzung des Arbeitsbereiches, für den Fall, daß der Wechselfluß groß im Verhältnis zum Gleichfluß wird.

Schließlich sei noch eine weitere Abgrenzung erwähnt, die durch den Aufbau der magnetischen Kreise des Systems hervorgerufen wird und die bedingt, daß bestimmte Flußwerte wegen Übersättigung der Eisenquerschnitte nicht überschritten werden können. Eine genauere zahlenmäßige Berechnung der Arbeitsbereichsgrenzen erfolgt im Anschluß an die Lösung der Bewegungsgleichung.

### *2. Lösung der Bewegungsgleichung für das untersuchte System*

Die Bewegungsgleichung (7) löst man in der Weise, daß man den Ankerweg in $n$ gleiche Teile unterteilt und die Lösung für jedes Teilstück ermittelt, wobei mit dem zuerst vom Anker durchlaufenen Wegelement begonnen wird. Für die zeitlich und örtlich veränderlichen Glieder in dem Klammerausdruck auf der rechten Seite der Bewegungsgleichung werden Mittelwerte eingesetzt und für die Rechnung zugrunde gelegt. Die Beschleunigung wird damit für das betreffende Wegelement als konstant angenommen. Dies ist natürlich nur bei hinreichend kleinen Wegelementen zulässig; d. h. also, die Unterteilung muß genügend fein sein.

Über die Einzelheiten der Durchführung dieses Rechenverfahrens siehe Anhang I. Es wurden hierbei:

$$\frac{\frac{2}{10}\varphi_0 \cdot 4\pi \cdot \Theta \cdot F_1}{r\,\Phi_2^2} = C \quad \text{und} \quad \frac{\Phi(t)\,\max}{\Phi_2} = Q = \frac{\Phi_W}{\Phi_2}$$

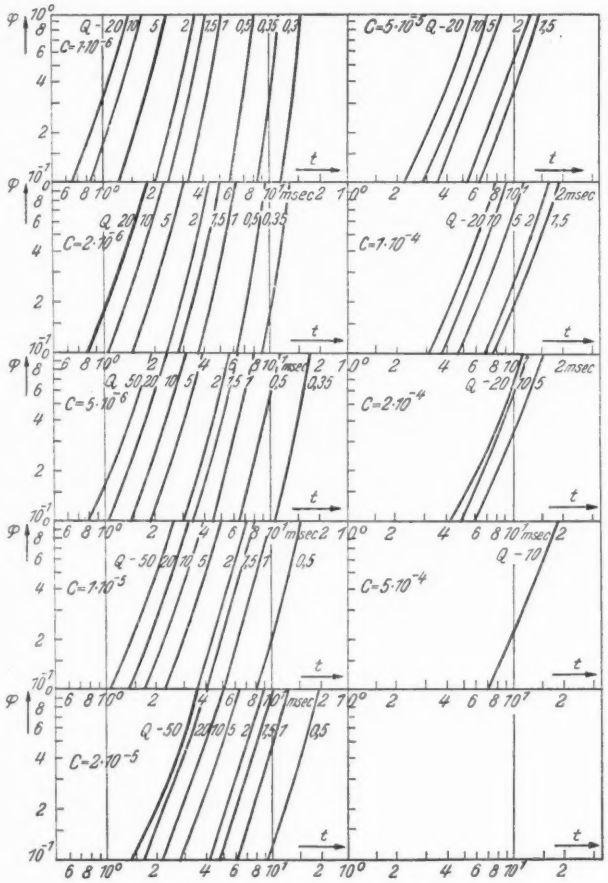
gesetzt und die Bewegungsgleichung für jeweils einen bestimmten Wert von $C$ und $Q$ gelöst. Eine Unterteilung des Weges in 10 gleiche Teile erwies sich hierbei als ausreichend. Indem nacheinander alle praktisch möglichen Werte für $C$ und $Q$ eingesetzt wurden, ergaben sich die Lösungen der Bewegungsgleichung für den gesamten Arbeitsbereich des zugrunde gelegten Antriebssystems.

Ein ähnliches Lösungsverfahren, bei dem allerdings die Änderung der wirksamen Fläche mit dem Drehweg nicht berücksichtigt ist, haben PFLEIDERER und SEIDE (2) angegeben.

### *3. Lösungsergebnisse*

a) Ankerdrehweg in Abhängigkeit von der Zeit.

In Abb. 6 sind die Ankerdrehweg-Zeit-Kurven für die verschiedenen $Q$- und $C$-Werte in doppelt-

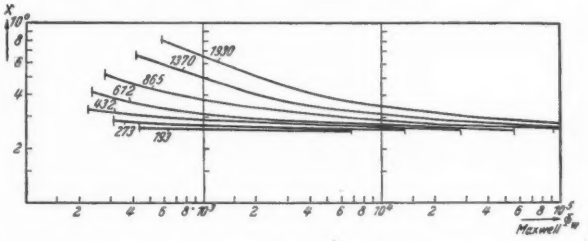



$$C = 2 \cdot \frac{\varphi_0}{10} \cdot \frac{F_1}{\Phi_2^2} \cdot 4\pi\Theta \cdot \frac{1}{r} \qquad Q = \frac{\Phi_{(t)\max}}{\Phi_2} = \frac{\Phi_W}{\Phi_2}$$

Abb. 6. Ankerdrehweg $= f(t)$ von $\varphi = 0{,}1\ \varphi_0$ bis $\varphi = \varphi_0$. Parameter: $C$ und $Q$

logarithmischem Maßstab für den Bereich $\varphi = 0{,}1$ bis $\varphi = 1$ dargestellt, wie sie nach dem angegebenen Lösungsverfahren ermittelt wurden. Bei dieser Darstellung können die Kurven mit guter Annäherung durch Geraden ersetzt werden. Dies bedeutet, daß sich die Weg-Zeit-Kurven durch Parabeln ersetzen lassen, deren Ordnung durch den Tangens der Geraden in der logarithmischen Darstellung gegeben ist. In Abb. 7 sind für das betrachtete System die Exponenten dieser Parabeln in Abhängigkeit von $\Phi_W$ mit $\Phi_2$ als Parameter dargestellt. Diese Exponenten nehmen mit wachsendem $Q$ ab und nähern sich alle ungefähr dem gleichen Endwert, der größer als 2 ist. Die größeren Werte des Exponenten bei kleinen $Q$-Werten sind damit zu erklären, daß hier die beschleunigende Wirkung des Gleichflusses während des Umlegens verhältnismäßig stärker wirksam wird als bei großen Werten. Daher ist hier die relative Zunahme der Beschleunigung am größten, während ihr Absolutwert natürlich klein ist. Der Wert 2 für den Exponenten würde konstante Beschleunigung bedeuten. Da aber fast immer die Beschleunigung mit der Zeit ansteigt, kann dieser Wert nicht unterschritten werden.

Wie aus Abb. 6 hervorgeht, nimmt die Umlegezeit mit wachsenden $Q$-Werten und mit kleiner werdenden $C$-Werten ab. Das bedeutet, daß also sowohl eine Erhöhung des Gleichflusses als auch des Wechselflusses die Umlegezeit verringert. In Abb. 8 ist diese Abhängigkeit der Umlegezeit von Gleich- und Wechselfluß dargestellt. Der Gleichfluß ist hierbei als Parameter gewählt worden. Die Umlegezeit sinkt nur in geringem Maße mit dem Wechselfluß; eine Erhöhung des Wechselflusses auf den 10fachen Betrag bringt nur eine Verringerung der Umlegezeit auf die Hälfte. Sinkt der Wechselfluß bis auf den Ansprechwechselfluß ab, so geht die Umlegezeit gegen Unendlich. Die Hüllkurve dieser Kurvenschar stellt eine Begrenzung des Arbeitsbereichs dar. Eine weitere




Gleichfluß $\Theta_2$ als Parameter in Maxwell

Abb. 7. Exponenten der Kurven: $\varphi = f(t)$

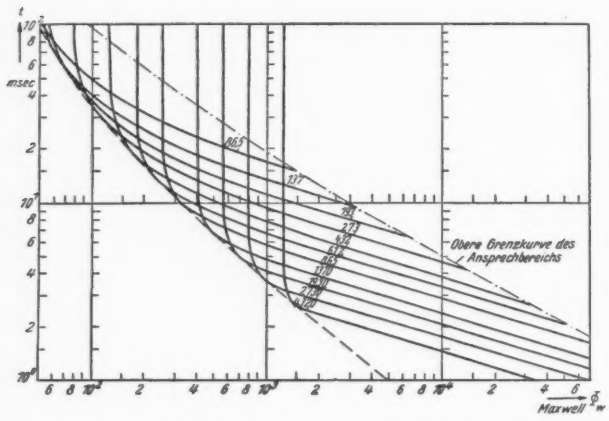



Abb. 8. Ankerumlegezeit in Abhängigkeit vom Wechselfluß

Begrenzung ergibt sich aus der höchstzulässigen Umlegezeit, die im Falle des betrachteten Wekkers 15 ms bei 25 Hz beträgt. Schließlich ist in Abb. 8 noch die Kurve eingetragen, die angibt, bei welchen $\Phi_0(t)_2$-Werten eine Umkehr des Drehmoments schon nach Durchlaufen von $^1/_{10}$ des Weges eintritt. Diese Kurve gibt eine ungefähre Begrenzung des Arbeitsbereichs nach großen Wechselflüssen hin an. Bei kleinen Gleichflüssen ist der Arbeitsbereich ziemlich klein, um sich nach großen Gleichflüssen zu erheblich zu verbreitern.

b) Ankerdrehgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit.

Die Ankerdrehgeschwindigkeiten sind deshalb von Bedeutung, weil ihre Endwerte den Geschwindigkeiten, mit denen der Klöppel an die Klangkörper schlägt, proportional sind.

In Abb. 9 sind die Ankerdrehgeschwindigkeit-Zeit-Kurven für die verschiedenen $Q$- und $C$-Werte in doppeltlogarithmischem Maßstab für den Bereich $\varphi = 0{,}1$ bis $\varphi = 1$ dargestellt. Aus ihnen lassen sich durch Multiplikation mit den zugehörigen Hebelarmlängen die Umlegegeschwindigkeiten für die verschiedenen Punkte von Anker und Klöppel gewinnen. In Abb. 10 ist die aus Abb. 9 ermittelte Beziehung $\dot{\varphi}_e = f(\Phi_W(t))$ mit $\Phi_2$ als Parameter dargestellt. ($\dot{\varphi}_e$ = Enddrehgeschwindigkeit.) Die Enddrehgeschwindigkeiten wachsen mit dem Gleich- und Wechselfluß. Oberhalb des Ansprechwertes ist dieser Anstieg zunächst ziem-

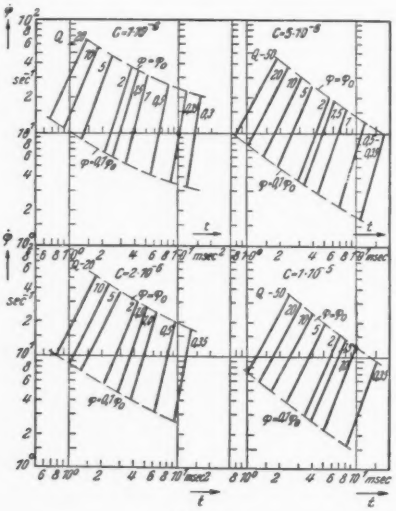



Abb. 9a

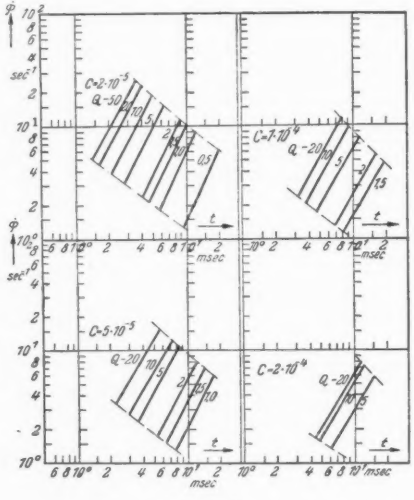



Abb. 9b

$$C = 2 \cdot \frac{\varphi_0}{10} \cdot \frac{F_1}{\Phi_2^2} \cdot 4\pi\Theta \cdot \frac{1}{\gamma} \qquad Q = \frac{\Phi_{(t)\max}}{\Phi_2} = \frac{\Phi_W}{\Phi_2}$$

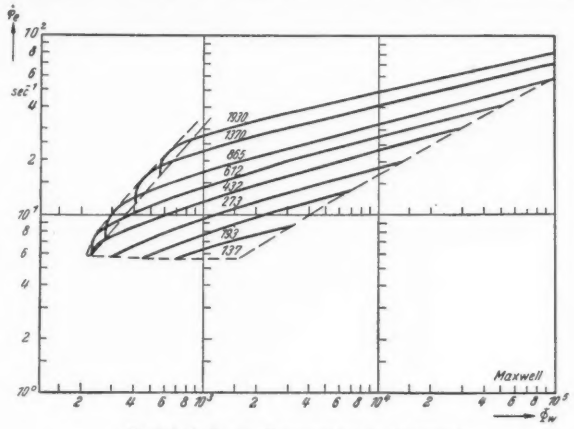
Parameter $C$ und $Q$

Abb. 9a und b. Ankerdrehgeschwindigkeit $= f(t)$ von $\varphi = 0{,}1\,\varphi_0$ bis $\varphi = \varphi_0$

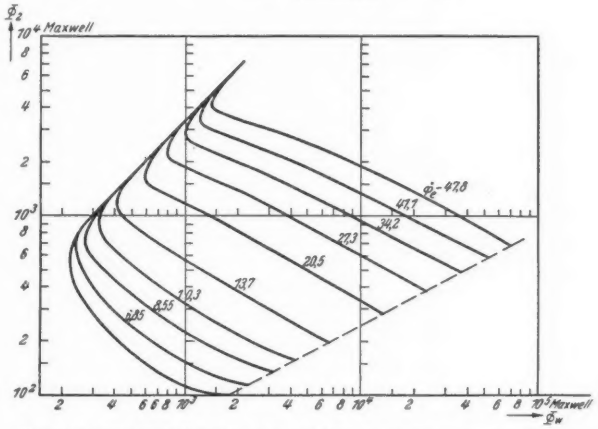
lich groß; im weiteren Verlauf steigen bei allen Gleichflüssen die Enddrehgeschwindigkeiten gleichmäßig mit $\Phi_W^{0,25 \to 0,3}$ an. In Abb. 10 sind ferner wiederum die Grenzen des Arbeitsbereichs eingetragen.

In Abb. 11 sind die Kurven $\dot{\varphi}_e = \text{const.}$ mit $\Phi_2$ und $\Phi_W$ als Abszissen und Ordinaten aufgetragen. Die Kurven laufen alle ungefähr parallel und können im doppeltlogarithmischen Maßstabe angenähert durch Geraden mit dem Tangens $-1/2$ dargestellt werden. D. h. also, die Kurven lassen sich durch eine Kurvenschar von der Form $\Phi_2^2 \cdot \Phi_W = \text{const.}$ annähern. Bekanntlich ist beim normalen Telephon die Membrangeschwindigkeit vom Produkt $\Phi_{Gl} \cdot \Phi_W$ abhängig, auch beim dynamischen System, z. B. beim Lautsprecher gilt die gleiche Beziehung. Wenn beim untersuchten Antrieb für Signalsysteme der Gleichfluß in stärkerem Maße auf die Endgeschwindigkeit einwirkt, so rührt dies von der Änderung des Gleichflusses mit dem Wege her, die sich als zusätzliche bewegende Kraft auswirkt. Ist daher eine bestimmte Lautstärke des Signalsenders vorgeschrieben, so wählt man zweckmäßigerweise den Gleichfluß so hoch wie möglich. Der aufzuwendende Wechselfluß nimmt in diesem Falle den kleinstmöglichen Wert an. Man kann auf diese Weise auch eine Beziehung $\dot{\varphi}_e/\Phi_W$ aufstellen, die für den elektrisch-mechanischen Wirkungsgrad des Systems charakteristisch ist und in Abb. 12 in Abhängigkeit vom Wechselfluß aufgetragen ist. Der tatsächliche Gleichfluß des Fg wck 7 ist also ziemlich günstig gewählt. Dieser Quotient hat seinen Höchstwert unmittelbar nach dem Ansprechen.

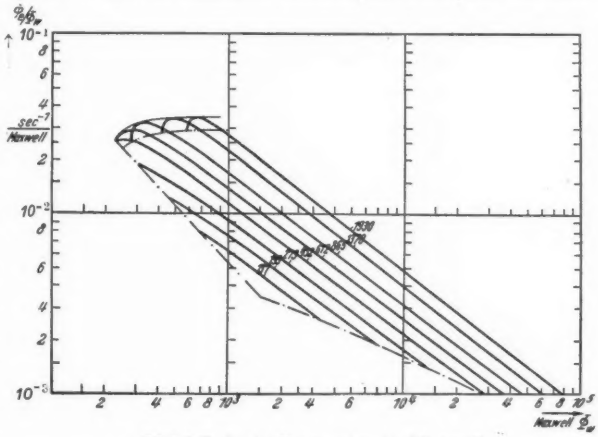
Für größere und mittlere Gleichflüsse ist dieser Höchstwert angenähert gleich; bei kleineren Gleichflüssen nimmt er mit dem Gleichfluß ab. Es ist demnach unzweckmäßig, den Gleichfluß zu klein zu wählen.




Gleichfluß als Parameter in Maxwell
Abb. 10. Enddrehgeschwindigkeit des Ankers in Abhängigkeit vom Wechselfluß




Enddrehgeschwindigkeit des Ankers in $\text{sec}^{-1}$ als Parameter
Abb. 11. Kurven konstanter Enddrehgeschwindigkeit des Ankers




Gleichfluß als Parameter in Maxwell
Abb. 12. Wirkungsgradcharakteristik als Funktion des Wechselflusses

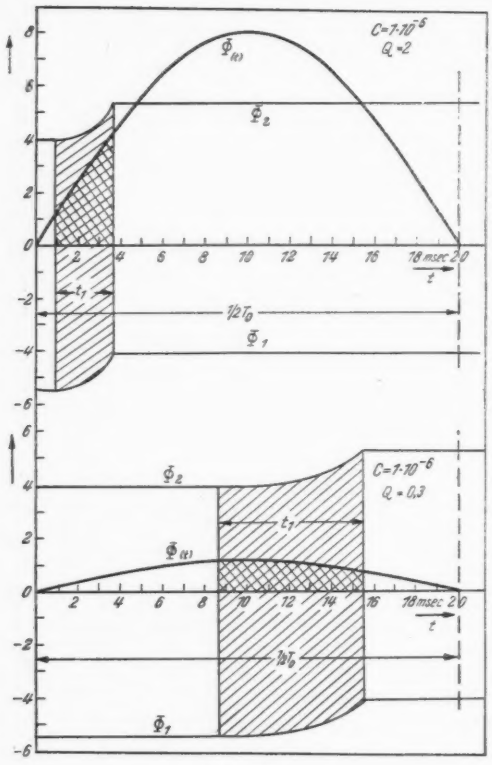



Abb. 13a

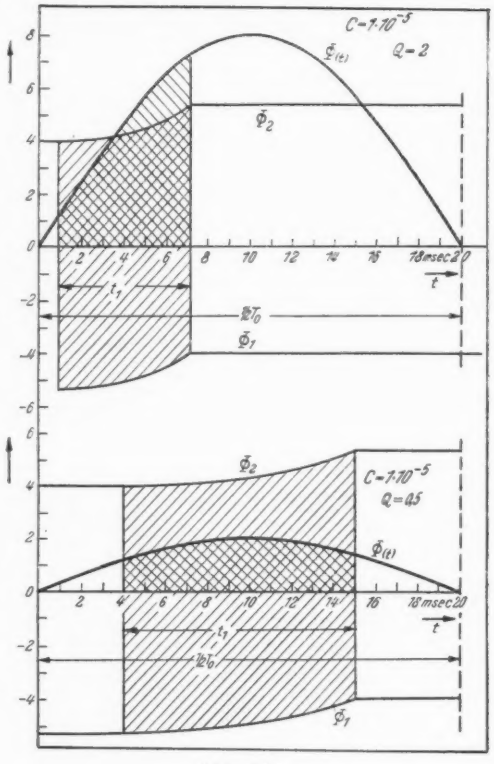



Abb. 13b

$t_1$ = Umlegezeit des Ankers; $\frac{1}{2}\,T_0$ = Halbperiode des Wechselflusses

Abb. 13a, b und c. Gleich- und Wechselfluß beim Umlegen des Ankers

In Abb. 13 ist schließlich noch für einige Fälle dargestellt, wie Gleich- und Wechselflüsse während des Umlegens nun tatsächlich verlaufen. Die rechtsdrehenden Flüsse $\Phi_W$ und $\Phi_2$ (siehe Abb. 4) sind hierbei nach oben, der linksdrehende Fluß $\Phi_1$ nach unten aufgetragen. Abb. 13a entspricht einem größeren, 13b einem mittleren und 13c einem kleineren Gleichfluß. Das obere Bild entspricht jeweils dem Wert $Q = \frac{\Phi_W}{\Phi_2} = 2$, d. h. der Umlegevorgang beginnt immer zum gleichen Zeitpunkt; die Umlegezeit wächst jedoch mit abnehmendem Gleich- und Wechselfluß erheblich an.

Die unteren Kurven stellen Fälle dar, in denen der Wechselfluß angenähert die kleinsten Werte hat, die für den betreffenden $C$-Wert möglich sind. Bei der unteren Kurve in Abb. 13a kann der Wechselfluß so klein gewählt werden ($Q = 0{,}3$), daß das Ansprechen erst unmittelbar vor dem Zeitpunkt erfolgt, zu dem der Wechselfluß seinen Höchstwert erreicht. In der unteren Kurve von Abb. 13b bei mittlerem Gleichfluß kann der Wechselfluß nicht mehr so klein im Verhältnis zum Gleichfluß werden ($Q = 0{,}5$), während in Abb. 13c bei kleinem Gleichfluß der Wechselfluß sogar größer sein muß als der Gleichfluß ($Q = 1{,}5$). Das Umlegen erstreckt sich hierbei über beinahe die ganze Halbperiode, so daß das System nicht mehr regelmäßig arbeiten kann.

Der Verlauf der Teilgleichflüsse mit der Zeit entspricht dem der Drehweg-Zeit-Kurve. Sie ändern sich daher anfangs nur wenig, später jedoch in immer stärkerem Maße.

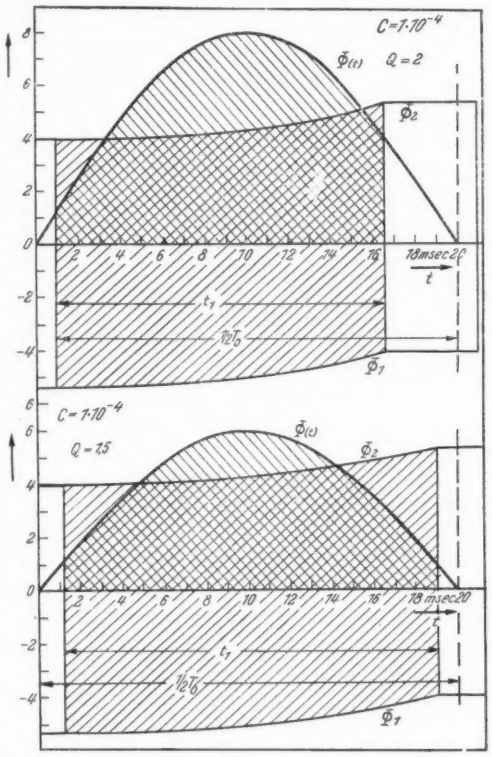



Abb. 13c

### *4. Günstigste Kurvenform des antreibenden Wechselstroms*

Bei den bisherigen Betrachtungen war ein rein sinusförmiger Wechselfluß angenommen worden. Es erhebt sich nun die Frage, ob die Möglichkeit besteht, durch andersartige Kurvenformen bessere Wirkungsgrade zu erzielen. Dies wäre hauptsächlich für kleine Wechselflüsse von praktischer Bedeutung, weil es u. U. möglich wäre, durch eine geeignete Kurvenform größere Dämpfungen zwischen dem elektrischen Generator und dem Signalsender zu überbrücken.

In einem solchen Falle wäre in Wirklichkeit allerdings wohl damit zu rechnen, daß der Wechselfluß angenähert sinusförmig ist. Dies rührt einmal davon her, daß auf den normalen Leitungen die hohen Frequenzen stärker gedämpft werden als die tiefen, so daß beim Signalsender in der Hauptsache nur die Grundwelle ankommt. Weiterhin stellt aber, wenn der Signalsender in Fernsprechgeräten betrieben wird, die parallel zu diesem liegende Sprechschaltung eine Weiche für die höheren Frequenzen dar, so daß hier noch eine weitere Verminderung des Oberschwingungsgehalts eintritt.

Nehmen wir aber trotzdem einmal einen Wechselfluß beliebiger Kurvenform an, so können wir anhand der Bewegungsgleichung einen Überblick über die Abhängigkeit von der Kurvenform gewinnen. Wir beschränken hierbei die Betrachtung auf Wechselflüsse in der Nähe der Ansprechgrenze, weil die Frage ja hier in erster Linie von Bedeutung ist. Hierzu teilt man den Klammerausdruck auf der rechten Seite der Bewegungsgleichung, der die zeitabhängigen Glieder enthält, in folgender Weise auf:

$$
\begin{aligned}
&\left\{\frac{[(\Phi_1/\Phi_2)\cdot b_1(\varphi)_n - Q\cdot f(t)]^2}{a_1(\varphi)_n} - \frac{[b_2\cdot(\varphi)_n + Q\cdot f(t)]^2}{F_2/F_1\cdot a_2(\varphi)_n}\right\} \\
&\quad = \left\{\frac{[(\Phi_1/\Phi_2)\cdot b_1(\varphi)_n]^2}{a_1(\varphi)_n} - \frac{[b_2(\varphi)_n]^2}{F_2/F_1\cdot a_2(\varphi)_n}\right\}^{\mathrm{I}} \\
&\quad - 2\left\{\frac{(\Phi_1/\Phi_2)\cdot b_1(\varphi)_n}{a_1(\varphi)_n} + \frac{b_2(\varphi)_n}{(F_1/F_2)\,a_2(\varphi)_n}\right\} Q\cdot f(t)^{\mathrm{II}} \\
&\quad + \left\{\frac{1}{a_1(\varphi)_n} - \frac{1}{a_2(\varphi)_n\,(F_2/F_1)}\right\} Q^2 f(t)^{2\ \mathrm{III}}.
\end{aligned}
\tag{10}
$$

Summand I enthält keine zeitabhängigen Glieder, so daß für ihn die Kurvenform ohne Bedeutung ist. Der Summand II hat ein negatives Vorzeichen. Da, wie schon früher erörtert, die gesamte Klammer ein negatives Vorzeichen haben muß, wenn eine Beschleunigung in der Bewegungsrichtung vorhanden sein soll, hat der Summand II stets eine beschleunigende Wirkung. Der Faktor

$$\left\{\frac{\Phi_1/\Phi_2\cdot b_2(\varphi)_n}{a_1(\varphi)_n} + \frac{b_2(\varphi)_n}{(F_2/F_1)\cdot a_2(\varphi)_n}\right\}$$

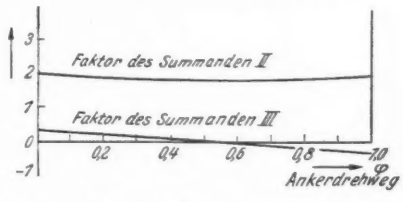



Abb. 14. Faktoren der Summanden in Gl. 10

im Summanden II ist, wie Skizze 14 zeigt, für jedes Wegelement angenähert konstant. Da $Q$

auch eine Konstante ist, ist der Verlauf von Summand II beim Umlegen allein durch den Verlauf von $f(t)$ bestimmt. Für die Endgeschwindigkeit, soweit sie durch Summand II bestimmt ist, kommt es daher nur auf den zeitlichen Mittelwert der Funktion $f(t)$ während des Umlegens, nicht aber auf deren Verlauf im einzelnen an. Der zu Summand III gehörige Faktor

$$\left(\frac{1}{a_1(\varphi)_n} - \frac{1}{(F_2/F_1)\cdot a_2(\varphi)_n}\right)$$

ist, wie Abb. 14 zeigt, vom Wege abhängig und hat zunächst eine hemmende, dann aber eine beschleunigende Wirkung. Sein Wert ist allerdings um eine Größenordnung kleiner als der von Summand II. Da auch, wie sich aus Abb. 12 ergibt, in allen praktisch günstigen Fällen $\Phi_W/\Phi_2 = Q < 1$ ist, kann der Einfluß dieses Summanden auf die Endgeschwindigkeit stets nur gering sein. Zieht man ihn aber trotzdem mit in Betracht, so ergibt sich, daß es günstig ist, wenn $f(t)$ zunächst kleinere und gegen Ende des Weges größere Werte hat. Jedoch darf zu Beginn der Ansprechwechselfluß nicht unterschritten werden. Ein nennenswerter Gewinn wäre aber auch mit einer Kurvenform, die diesen Bedingungen entspricht, kaum zu erwarten.

Es folgt also im Endergebnis, daß erstens in der Hauptsache der zeitliche Mittelwert des Wechselflußverlaufs für den Umlegevorgang maßgebend ist, und zweitens, daß kein Verlauf denkbar ist, der gegenüber dem rein sinusförmigen hinsichtlich des Ansprechens wesentliche Vorteile besitzt.

## IV. Der Einschwingvorgang des Ankers und Klöppels

### *1. Aufstellung des elektrischen Ersatzschaltbildes für Anker und Klöppel*

Bei der Aufstellung der Bewegungsgleichung waren Anker und Klöppel als ein vollkommen starres Gebilde betrachtet worden. In Wirklichkeit besitzt der Klöppelstiel aber eine gewisse Elastizität und federt bei Drehbewegungen des Ankers etwas durch, so daß die Winkelgeschwindigkeiten des Ankers und des Schlaggewichts am Klöppel voneinander abweichen. Der mechanische Widerstand, den das Schwingsystem der bewegenden Kraft entgegensetzt, ist damit aber ein anderer als bei einem vollkommen starren Gebilde. Infolgedessen muß auch der zeitliche Ablauf der Bewegungsvorgänge von Anker und Schlaggewicht sich von demjenigen bei vollkommen unelastischem Klöppelstiel unterscheiden.

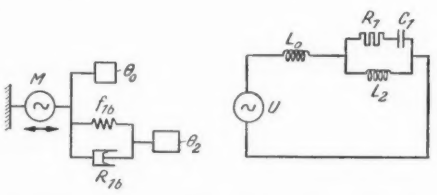
Wie groß diese Unterschiede sind, läßt sich mit Hilfe der Theorie der Ausgleichsvorgänge (3) beantworten. Dies in erster Linie für elektrische Gebilde entwickelte Verfahren kann ohne weiteres auch auf mechanische Systeme übertragen werden, wenn man ein elektrisches Ersatzschaltbild für sie aufstellt und mit diesem die Rechnung durchführt. Man ermittelt dabei zunächst den sogenannten Widerstandsoperator, der für den zeitlichen Ablauf der Ströme und Spannungen in den einzelnen Schaltelementen maßgebend ist. Mit Hilfe dieses Ausdrucks lassen sich deren Werte zahlenmäßig bestimmen für den Fall, daß plötzlich eine zeitlich unveränderliche EMK auftritt. Sodann läßt sich nach sinngemäßer Übertragung dieser Ergebnisse auf das mechanische System angeben, wieweit die wirklichen Bewegungen von Anker und Klöppel von denen eines vollkommen starren Schwinggebildes abweichen.

Das Verfahren der Aufstellung elektrischer Ersatzschaltbilder für mechanische Schwingungsgebilde ist eingehend in einer Arbeit von HÄHNLE (4) behandelt worden. Bei den folgenden Betrachtungen wird von den beiden an sich möglichen elektrischen Entsprechungen die anschaulichere (bei HÄHNLE als el. Entsprechung I bezeichnete) gewählt, bei der sich folgende Größen entsprechen:

| | |
|---|---|
| Kraft . . . . . | El. Spannung |
| Geschwindigkeit . . . . | El. Strom |
| Reibungswiderstand . . | ohmscher Widerstand |
| Masse . . . . . | Induktivität |
| Nachgiebigkeit . . . . | Kapazität |
| Mechanischer Scheinwiderstand . . . . . | El. Scheinwiderstand |

Die mechanische Anordnung und ihre elektrische Entsprechung sind in Abb. 15 dargestellt. Bei dem Bild der mechanischen Anord-

nung sind Größen, deren Einfluß auf das Gesamtergebnis von untergeordneter Bedeutung sind, unberücksichtigt geblieben. So sind Anker und Schlaggewicht als vollkommen starr betrachtet worden, ferner sind Luft- und Lagerreibungen vernachlässigt worden.




| | Entsprechende Größen |
|---|---|
| $M$ = antreibendes Drehmoment | $U$ |
| $\Theta_0$ = Trägheitsmoment des Ankers | $L_0$ |
| $\Theta_2$ = Trägheitsmoment des Schlaggewichts | $L_2$ |
| $f_{1B}$ = Biegenachgiebigkeit } des Klöppelstiels | $C_1$ |
| $R_{1B}$ = Biegereibungswiderstand } des Klöppelstiels | $R_1$ |

Abb. 15. Mechanische Anordnung des Ankers mit elastischem Klöppel sowie deren elektrische Entsprechung I

Die Grundfrequenz des Klöppels errechnet sich nach der Formel:

$$\frac{1}{\omega^2} = \frac{1}{\omega_0^2} + \frac{1}{\omega_i^2} \tag{11}$$

$\omega_0$ = Grundfrequenz des Klöppelstiels mit Eigenmasse ohne Punktmasse

$\omega_i$ = Eigenfrequenz des Klöppelstiels ohne Eigenmasse aber mit dem Schlaggewicht.

Es ist $\omega \approx \omega_i$. Da sich nur für den Klöppelstiel ohne Eigenmasse elektrische Entsprechungen aufstellen lassen, ist für die weitere Rechnung ein Teil der Masse des Klöppelstiels zu der Masse des Schlaggewichts als mitschwingende Masse hinzugezählt worden, so daß $\omega = \omega_i$ wird. Es sind dies im vorliegenden Fall etwa 25% (= 0,25 g) der Gesamtmasse des Klöppelstiels, die in der Rechnung zu der Schlaggewichtsmasse hinzugezählt werden.

Die oben angegebenen Entsprechungen beziehen sich auf geradlinige mechanische Bewegungen. Da es sich im vorliegenden Falle um Drehbewegungen handelt, sind die für die Drehbewegung maßgeblichen Größen einzusetzen. Es entsprechen sich dann folgende Größen:

| | |
|---|---|
| Drehmoment . . . . . | El. Spannung |
| Winkelgeschwindigkeit | El. Strom |
| Biegereibungswiderstand . . . . . | ohmscher Widerstand |
| Trägheitsmoment . . . | Induktivität |
| Biegenachgiebigkeit . . | Kapazität |
| Mechanischer Biegescheinwiderstand . . | El. Scheinwiderstand |

Für den untersuchten Fg wck 7 ergaben sich folgende Werte

| | |
|---|---|
| Trägheitsmoment des Schlaggewichts, bezogen auf Drehachse | 73,6 g cm² |
| Trägheitsmoment des Ankers, bezogen auf Drehachse | 6,0 g cm² |
| Biegenachgiebigkeit des Klöppelstiels | $2{,}56 \cdot 10^{-8}\,\mathrm{cm^{-2}g^{-1}sec^2}$ |
| Biegereibungswiderstand des Klöppelstiels | $3{,}46 \cdot 10^{3}\,\mathrm{cm^2\,g\,sec^{-1}}$ |

*2. Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der Ströme und Spannungen beim plötzlichen Einschalten einer zeitlich konstanten EMK*

Hierfür muß bei dem Ersatzschaltbild zunächst der Widerstandsoperator ermittelt werden. Zu diesem Zweck legt man in der Theorie der Ausgleichsvorgänge einer Kapazität $C$ den Wert $1/C\,p$, einer Induktivität $L$ den Wert $L\,p$ und einen Widerstand $R$ seinen normalen Wert $R$ bei und rechnet mit diesen Größen als ob es sich um normale ohmsche Widerstände bei Gleichstrom handelte. (Über die Bedeutung der Größe $p$ siehe z. B. K. W. Wagner: Operatorenrechnung.) Für den Strom (siehe Skizze 15) ergibt sich dann:

$$J = U \cdot 1/R_{res} = U \cdot \frac{1}{p L_0 + \dfrac{(R_1 + 1/pC_1)(pL_2)}{pL_2 + R_1 + 1/pC_1}}, \tag{12}$$

wobei $U$ die EMK an den Eingangsklemmen der elektrischen Entsprechung ist. Über die Durchführung der weiteren Rechnung nach den Ver-

fahren der Operatorenrechnung siehe Anhang II. Als Endergebnis erhält man:

$$(13)\quad J = U\left[\frac{t}{L_0+L_2} + e^{-\alpha' t}\cdot\frac{1}{\omega' L_0}\cdot\frac{L'}{L_0}\cdot\sin\omega' t\right]$$

$$(14)\quad J_C = -U\left[e^{-\alpha' t}\cdot\frac{1}{\omega' L_0}\cdot\sin\omega' t\right]$$

$$(15)\quad J_L = U\left[\frac{t}{L_0+L_2} - e^{-\alpha' t}\cdot\frac{1}{\omega' L_0}\cdot\frac{L'}{L_2}\cdot\sin\omega' t\right],$$

wobei $J$ der Gesamtstrom ist, der in das Gebilde fließt, während $J_C$ und $J_L$ die beiden Teilströme durch $C$ und $L$ bedeuten. Ferner ist

$$(16)\quad \alpha' = \frac{R_1}{2L'};\qquad \frac{1}{L'} = \frac{1}{L_0}+\frac{1}{L_2};$$
$$\omega' = \sqrt{\omega_0'^2 - \alpha'^2};\qquad \omega_0'^2 = \frac{1}{L'C_1}.$$

Es überlagert sich also den mit $t$ ansteigenden Strömen $J$ und $J_L$ eine gedämpfte Schwingung von der Frequenz $\omega'$. Für große $t$-Werte ist $J = J_L$; das bedeutet auf den mechanischen Fall übertragen: Anker und Schlaggewicht bewegen sich unter der Wirkung einer plötzlich einsetzenden konstanten Kraft bei großen $t$-Werten mit gleicher Winkelgeschwindigkeit. Der Strom $J_C$ geht mit $t$ gegen Null, d. h. der Klöppelstiel biegt sich mit allmählich abnehmender Geschwindigkeit bis zu einem gewissen Betrage durch, wobei sich zusätzlich diesem Vorgang noch eine gedämpfte Schwingung überlagert. Den Betrag der Durchbiegung erhält man, wenn man $U_c$, d. h. die am Kondensator liegende Spannung berechnet. Diese ist:

$$(17)\quad U_c = U\frac{L_2}{L_0+L_2}\left[1 - e^{-\alpha' t}\left(\cos\omega' t - \frac{\alpha'}{\omega'}\cdot\sin\omega' t\right)\right].$$

### *3. Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der Ströme und Spannungen beim plötzlichen Anschalten einer mit der Zeit ansteigenden EMK*

Allgemein gilt folgende Beziehung, die in der Theorie der Ausgleichsvorgänge abgeleitet wird und die, auf den vorliegenden Fall übertragen, angibt, wie der zeitliche Verlauf der Ströme unter der Wirkung einer zeitlich beliebig verlaufenden EMK vor sich geht:

$$(18)\quad J(t) = U(t)\cdot A(0) - \int_0^t U(\zeta)\,\frac{d}{d\zeta}\{A(t-\zeta)\}\,d\zeta.$$

$U(\zeta)$ = zeitlicher Verlauf von $U$.

$A(t)$ = zum Widerstandsoperator gehörige Übertragungsfunktion (siehe Anhang II). Setzt man: $U = K\cdot t^n$, so ergibt sich auf Grund einer längeren Rechnung, die in Anhang III im einzelnen ausgeführt ist, als allgemeine Lösung folgender Ausdruck:

$$(19)\quad \begin{aligned} J(t)_n = K\Bigg[&\frac{1}{L_0+L_2}\cdot\frac{t^{n+1}}{n+1} + \frac{1}{\omega' L_0}\\ &\cdot\frac{L'}{L_0}\Bigg\{e^{-\alpha' t}\sum_{\mu=0}^{\mu=n}\frac{1}{r^\mu}\cdot t^{n-\mu}\binom{n}{\mu}\mu!\,(-1)^\mu\\ &\cdot\sin(\omega' t + \mu\beta) - \sum_{\mu=0}^{\mu=n}\frac{1}{r^\mu}\\ &\cdot t^{n-\mu}\binom{n}{\mu}\mu!\,(-1)^\mu\sin\mu\beta\Bigg\}\Bigg]. \end{aligned}$$

Hierin ist

$$(20)\quad \sin\beta = \frac{\omega'}{\sqrt{\alpha'^2+\omega'^2}};\qquad \cos\beta = \frac{\alpha'}{\sqrt{\alpha'^2+\omega'^2}};$$
$$r = \sqrt{\alpha'^2+\omega'^2}.$$

Ferner ergibt sich

$$(21)\quad J_C(t)_n = K\left[\frac{1}{\omega' L_0}\{e^{-\alpha' t}\,\Sigma I' - \Sigma II'\}\right]$$

$$(22)\quad \begin{aligned} J_L(t)_n K\Bigg[&\frac{1}{L_0+L_2}\cdot\frac{t^{n+1}}{n+t}\\ &-\frac{1}{\omega' L_0}\cdot\frac{L'}{L_2}\{e^{-\alpha' t}\,\Sigma I' - \Sigma II'\}\Bigg]. \end{aligned}$$

In ähnlicher Weise lassen sich $U_L$ und $U_c$ berechnen.

### *4. Ermittlung der Weg-Zeit-Kurven für Anker und Schlaggewicht bei elastischem Klöppelstiel beim plötzlichen Anschalten einer mit der Zeit ansteigenden Kraft*

Mit Hilfe der angegebenen Formeln lassen sich für ein auf den Anker wirkendes Drehmoment von der Form $D = c\cdot t^n$ die Geschwindigkeiten von Anker und Schlaggewicht berechnen. Hierbei entspricht dem Strom $J$ die Ankerdrehweggeschwindigkeit $\dot{\varphi}$, dem Strom $J_L$ die Drehgeschwindigkeit des Schlaggewichts, während die Größe $J_c$ bei der mechanischen Entsprechung die Änderung der Durchbiegung des Klöppelstiels angibt.

Aus diesen verschiedenen Geschwindigkeiten gewinnt man durch Integrieren nach der Zeit die Drehweg-Zeit-Kurven. Es ist:

$$\varphi_{Anker}(t)_n = K\left[\frac{1}{\Theta_0+\Theta_2}\cdot\frac{t^{n+2}}{(n+1)(n+2)}\right.$$

$$-\frac{1}{\omega'\Theta_0}\cdot\frac{\Theta}{\Theta_0}\left\{e^{-\alpha' t}\sum_{\mu=0}^{\mu=n/2} t^{n-2\mu}\cdot\binom{n}{2\mu}\cdot 2\mu!\right. \tag{23}$$

$$\left.\left.\cdot\frac{1}{\gamma^{1+2\mu}}\cdot\sin\left[\omega' t+(1+2\mu)\beta\right]+\sum_{\mu=0}^{\mu=n/2} t^{n-\mu}\right.\right.$$

$$\left.\left.\cdot\sin\left[(1+2\mu)\beta\right](-1)^{\mu}\frac{1}{\gamma^{1+\mu}}\binom{n}{\mu}\mu!\right\}\right];$$

$$\varphi_{Durchbiegung}(t)_n = -K \tag{24}$$

$$\cdot\frac{1}{\omega'\Theta_0}\left[e^{-\alpha' t}\Sigma I''-\Sigma II''\right];$$

$$\varphi_{Schlaggewicht}(t)_n = K\left[\frac{1}{\Theta_0+\Theta_2}\cdot\frac{t^{n+2}}{(n+1)(n+2)}\right. \tag{25}$$

$$\left.+\frac{1}{\omega'\Theta_0}\cdot\frac{\Theta'}{\Theta_2}\left\{e^{-\alpha' t}\Sigma I''-\Sigma II''\right\}\right].$$

### 5. *Der Umlegevorgang für Anker und Klöppel bei elastischem und starrem Klöppelstiel*

Die Ausdrücke für den zeitlichen Verlauf der Drehwege und Drehgeschwindigkeiten von Anker und Klöppel mit elastischem Klöppelstiel unter der Einwirkung eines Drehmoments von der Form $D = c \cdot t^n$ teilen sich in drei Summanden auf.

Der erste Summand

$$K\left[\frac{1}{\Theta_0+\Theta_2}\cdot\frac{t^{n+1}}{n+1}\right]$$

für $\dot{\varphi}$ und

$$K\left[\frac{1}{\Theta_0+\Theta_2}\cdot\frac{t^{n+2}}{(n+1)(n+2)}\right]$$

für $\varphi$ gibt an, wie die Drehwege und Drehgeschwindigkeiten verlaufen würden, wenn der Klöppelstiel vollkommen starr wäre. In diesen Ausdrücken steht daher das gesamte Trägheitsmoment des schwingenden Systems im Nenner.

Der zweite und der dritte Summand geben an, wie groß die Abweichungen von diesen Werten sind, die durch die Elastizität des Klöppelstiels hervorgerufen werden. Die zweiten Summanden:

$$K\left[\frac{1}{\omega'\Theta_0}\cdot\frac{\Theta'}{\Theta_0}\cdot e^{-\alpha' t}\Sigma I'\right] \quad \text{für } \dot{\varphi}_{Anker}$$

$$\text{bzw. } K\left[\frac{-1}{\omega'\Theta_0}\cdot\frac{\Theta'}{\Theta_2}\cdot e^{-\alpha' t}\Sigma I'\right] \quad \text{für } \dot{\varphi}_{Schlaggewicht}$$

$$K\left[\frac{-1}{\omega'\Theta_0}\cdot\frac{\Theta'}{\Theta_0}\cdot e^{-\alpha' t}\Sigma I''\right] \quad \text{für } \varphi_{Anker}$$

$$\text{bzw. } K\left[\frac{1}{\omega'\Theta_0}\cdot\frac{\Theta'}{\Theta_2}\cdot e^{-\alpha' t}\Sigma I''\right] \quad \text{für } \varphi_{Schlaggewicht}$$

stellen gedämpfte Schwingungen dar, gehen also mit $t$ gegen Null. Die Frequenz ist durch das Verhältnis der Trägheitsmomente von Anker und Schlaggewicht zueinander sowie durch die Elastizität des Klöppelstiels bestimmt. Zwischen $\omega'$ und der Eigenfrequenz des Klöppels $\omega$ besteht die Beziehung: $\omega'/\omega = \sqrt{\frac{\Theta_0+\Theta_2}{\Theta_2}}$. Es ist daher stets: $\omega' > \omega$.

Die dritten Summanden:

$$K\left[\frac{1}{\omega'\Theta_0}\cdot\frac{\Theta'}{\Theta_0}\Sigma II'\right] \quad \text{für } \dot{\varphi}_{Anker}$$

$$\text{bzw. } K\left[\frac{1}{\omega'\Theta_0}\cdot\frac{\Theta'}{\Theta_2}\Sigma II'\right] \quad \text{für } \dot{\varphi}_{Schlaggewicht}$$

$$K\left[\frac{1}{\omega'\Theta_0}\cdot\frac{\Theta'}{\Theta_0}\Sigma II''\right] \quad \text{für } \varphi_{Anker}$$

$$\text{bzw. } K\left[\frac{-1}{\omega'\Theta_0}\cdot\frac{\Theta'}{\Theta_2}\Sigma II''\right] \quad \text{für } \varphi_{Schlaggewicht}$$

stellen einen festen, mit $t$ wachsenden Anteil dar, wobei der höchste unter den einzelnen Gliedern des Summanden vorkommende Exponent von $t$ jedoch um den Betrag 2 kleiner ist als der des ersten Summanden. Der erste Summand ist daher für größere $t$-Werte in erster Linie maßgebend, so daß sich hier das Gebilde angenähert wie ein vollkommen starres System verhält. Für kleine $t$-Werte hingegen ist der dritte Summand zunächst der maßgebende. Hier verhalten sich also die Drehgeschwindigkeiten und Drehwege von Anker und Schlaggewicht zueinander wie $1/\Theta_0$ zu $1/\Theta_2$, d. h. umgekehrt wie ihre Trägheitsmomente. Da im praktischen Fall das Trägheitsmoment des Schlaggewichts meist erheblich größer sein wird als das des Ankers, so werden Ankerdrehweg und Ankerdrehgeschwindigkeit unmittelbar nach Beginn des Umlegevorganges ebenfalls die entsprechenden Werte beim Schlaggewicht erheblich übertreffen.

In den Abb. 16, 17 ist für das betrachtete System dargestellt, wie die einzelnen Drehwege und Drehgeschwindigkeiten unter der Einwirkung eines Drehmoments: $D = c \cdot t^n$ verlaufen. Für $n$ wurden die Werte 0, 1, 2 und 3 eingesetzt. Auf der Abszisse ist die Zeit in Millisekunden angegeben, während der Ordinatenmaßstab willkürlich gewählt ist. Die Durchrechnung wurde bis 10 msec durchgeführt, da in dem gewählten

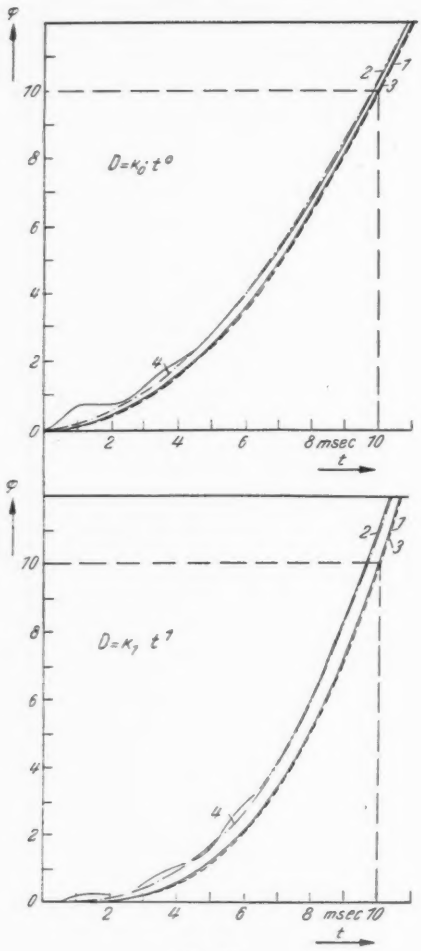



Abb. 16 a

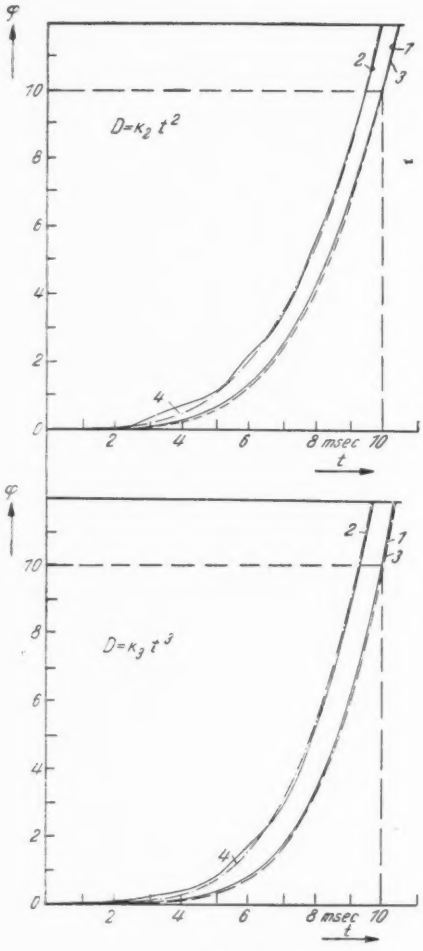



Abb. 16 b

——— 1 Wegverlauf für starres System; ——— 2 Wegverlauf für Anker und – – – – 3 Schlaggewicht bei elastischem Klöppelstiel; –·–·– 4 Näherungsdarstellung für Ankerweg bei elastischem Klöppelstiel von der Form $\varphi_{Anker} = c \cdot t^{0,9\,n}$

Abb. 16 a und b. Drehwinkel für Anker und Schlaggewicht für Drehmoment $= k \cdot t^n$

praktischen Beispiel diese Zeit nur in einigen Fällen überschritten wird. Ferner ist der Fall des vollkommen starren Klöppels in der Darstellung mit angegeben worden. Die Bewegung des vollkommen starren Gebildes unterscheidet sich praktisch kaum von der des Schlaggewichts beim elastischen Klöppelstiel. Die Ankerbewegung jedoch weicht hiervon in merklicher Weise ab, und zwar infolge der Einflüsse der zweiten und dritten Summanden in den Ausdrücken für diese Größen.

Für den Drehwinkel des Schlaggewichts gilt demnach für den vorliegenden praktischen Fall mit guter Annäherung eine Beziehung von der Form $t^{n+2}$. Aber auch für den Drehwinkel des Ankers bei biegsamem Klöppel läßt sich in Abhängigkeit von der Zeit eine Näherungsdarstellung finden, die von der Form $\varphi_A = c \cdot t^{\alpha(n+2)}$ ist. Hierbei ist $\alpha = 0{,}9$. Wie dies Verhalten des Ankers gedeutet werden kann, geht aus Abb. 18 hervor. Hierbei gibt Kurve 1 den Verlauf des Ankerdrehweges in Abhängigkeit von

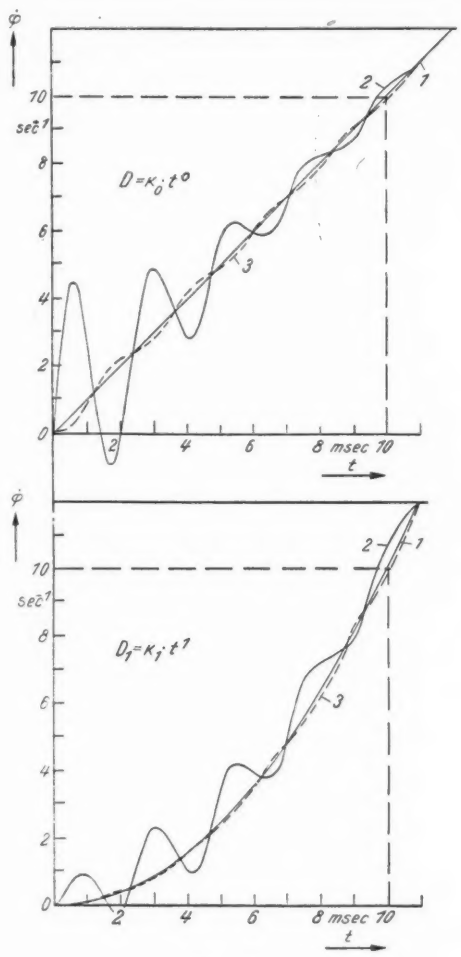



Abb. 17 a

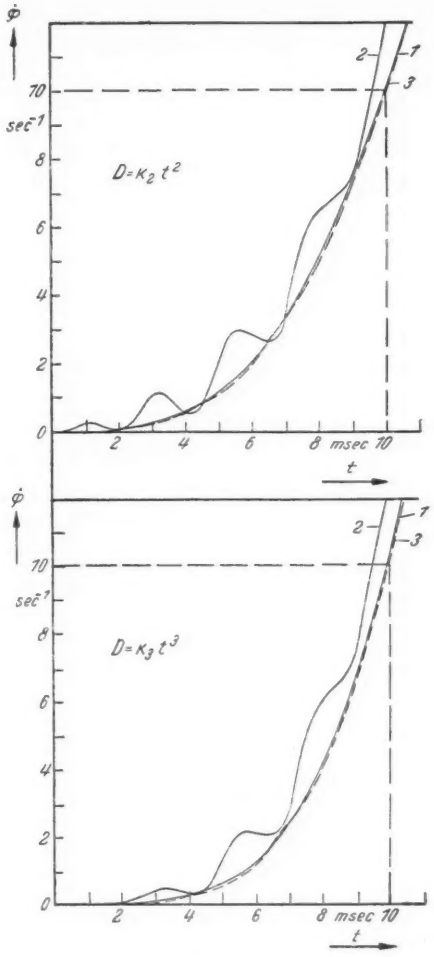



Abb. 17 b

——— 1 Drehgeschwindigkeit beim starren System; ——— 2 Drehgeschwindigkeit für Anker und – – – – 3 Schlaggewicht beim elastischen Klöppelstiel

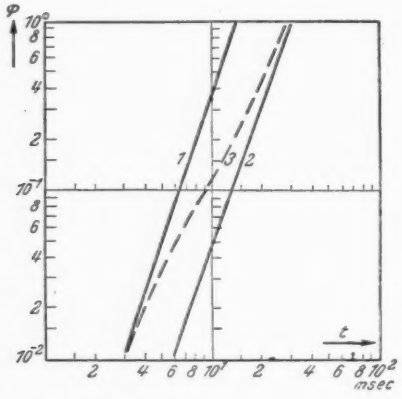
Abb. 17 a und b. Drehgeschwindigkeit für Anker und Schlaggewicht für Drehmoment $= k \cdot t^n$

der Zeit für den Fall an, daß überhaupt kein Klöppel vorhanden ist. Kurve 2 gibt den Verlauf für den Fall an, daß ein vollkommen starrer Klöppel mit dem Anker verbunden ist.

Kurve 1 und 2 haben beide einen Anstieg mit $t^{n+2}$. Der wirkliche Verlauf des Ankerdrehwinkels ist durch Kurve 3 wiedergegeben, die anfänglich ungefähr wie Kurve 1 verläuft, um sich später mehr der Kurve 2 anzunähern. Kurve 3 muß daher einen etwas geringeren zeitlichen Anstieg haben als die Kurven 1 und 2. In Abb. 16 sind die Kurven für die Ankerbewegung unter dem Einfluß eines Drehmoments von der Form: $D = c \cdot t^n$ sowie deren Näherungsdarstellungen: $\varphi_A = c \cdot t^{\alpha(n+2)}$ in doppeltlogarithmischem Maßstabe dargestellt. Wie aus der Darstellung ersichtlich, ist die Annäherung hinreichend gut.

Bezüglich des Umlegevorganges ergibt sich daher folgendes: 1. Ist der Klöppel vollkommen starr, so kann bei dem untersuchten Antriebssystem das angreifende Drehmoment durch ein

solches von der Form $D = c \cdot t^n$ ersetzt werden, ohne daß sich im Umlegevorgang etwas ändert. $n$ liegt dabei zwischen etwa 0,5 und 5.




1 Anker allein; 2 Anker mit starrem Klöppel; 3 Anker mit elastischem Klöppel

Abb. 18. Erläuterung zur Ableitung der Näherungsdarstellung: Ankerdrehweg $= f(t^{0.9(n+2)})$

2. Ist der Klöppel elastisch, so gilt diese Beziehung nur näherungsweise, da sich zwar das Schlaggewicht fast genau so bewegt, wie bei vollkommen starrem Klöppel, der Anker aber besonders zu Beginn des Umlegevorganges dieser Bewegung etwas vorauseilt. Da das Drehmoment, soweit es vom Gleichfluß abhängt, mit dem Ankerweg wächst, muß es insgesamt immer etwas größer sein als beim vollkommen starren Klöppel.

Eine Lösungsmethode der Bewegungsgleichung, die sich dem wirklichen Vorgang noch besser anpassen würde, müßte demnach auch noch die voneinander abweichenden Bewegungen von Anker und Klöppelgewicht berücksichtigen. Dies Näherungsverfahren würde aber außerordentlich umständlich sein und zudem die grundsätzlichen Aussagen, auf deren Herleitung es im vorliegenden Falle hauptsächlich ankam, nicht wesentlich ändern. Auf die Durchführung dieser Rechnung ist daher verzichtet worden.

## V. Experimentelle Ergebnisse

Die theoretische Untersuchung des Bewegungsvorganges ermöglicht die Deutung einiger nicht von vornherein zu übersehender experimenteller Ergebnisse. Es sind dies:

a) Schalldruck des Signalgebers in Abhängigkeit vom Wechselfluß bei verschiedenen Gleichflüssen und konstant gehaltener Antriebsfrequenz.

b) Ansprechwechselfluß in Abhängigkeit von der Frequenz bei verschiedenen Gleichflüssen.

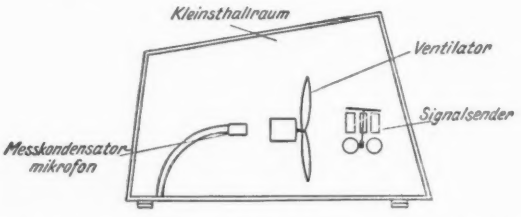
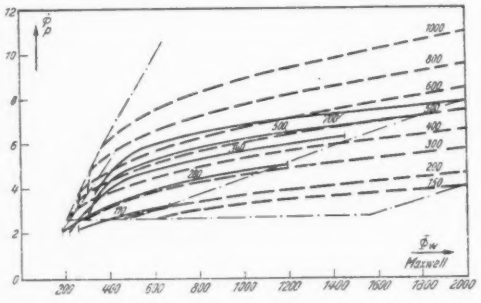



Abb. 19. Messung des Schalldrucks beim Signalsender

Zu Punkt a). Schalldruck des Signalgebers in Abhängigkeit vom Wechselfluß. Die Schalldruckmessungen erfolgten in einem Hallraum kleinsten Ausmaßes (5) (Abb. 19). Dies war notwendig, weil die von den Klangkörpern abgestrahlte Schalleistung stark gerichtet war. Innerhalb des Hallraumes, der von schräg gegen-




$\dot{\psi}$, $p$ relative Maßstäbe
Gleichfluß als Parameter in Maxwell
——— Schalldruck in Abhängigkeit vom Wechselfluß (gemessen); – – – – Ankerendgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Wechselfluß (berechnet) (Klöppel starr)

Abb. 20. Schalldruck und Ankerendgeschwindigkeit als Funktion des Wechselflusses

einander geneigten Glaswänden begrenzt war, ergab sich weitgehende Unabhängigkeit des Schalldrucks von der Stellung des Signalsenders zum Meßkondensatormikrophon. Zwischen Signalgeber und Mikrophon war zudem noch ein

langsam laufender Ventilator mit sehr großen Flügeln angebracht, um in dem Raum dauernd veränderte Reflexionsbedingungen zu schaffen. In Abb. 20 sind für den Fg wck 7 für verschiedene Gleichflußwerte die Kurven des Schalldruckes in Abhängigkeit vom Wechselfluß aufgetragen. Der Maßstab für den Schalldruck ist willkürlich gewählt. Die Messungen erfolgten bei einer Antriebsfrequenz von 25 Hz, d. h. der normalen Betriebsfrequenz des Systems. Ferner sind in diesem Bild die rechnerisch ermittelten Werte für die Enddrehgeschwindigkeit des starren Systems in Abhängigkeit vom Wechselfluß für verschiedene Gleichflüsse aufgetragen. Auch hier ist der Ordinatenmaßstab willkürlich gewählt. Es zeigt sich, daß beide Kurvensysteme in befriedigender Weise miteinander zur Dekkung gebracht werden können. Hierbei ist zu bedenken, daß die Schalldruckmessungen nicht mit der Meßgenauigkeit durchgeführt werden können, wie sie bei normalen Schallsendern, z. B. Telephonen oder Lautsprechern erreicht wird. Einmal ist die abgegebene Schalleistung in starkem Maße von der genauen Einstellung der Klangkörper zum Klöppel abhängig. Ferner ist zu Beginn eines Umlegevorganges der Ausschwingvorgang des Klöppels besonders bei kleinen Gleich- und Wechselflüssen noch nicht abgeschlossen, was zu gewissen, vollkommen regellosen Ungleichmäßigkeiten im Bewegungsvorgang von Anker und Klöppel führt. Dies hat dauernde Schwankungen des abgegebenen Schalldrucks zur Folge, die erfahrungsgemäß etwa in der Größe von $\sim 5\%$ liegen.

Diese Schwankungen sind an der unteren und oberen Grenze des Arbeitsbereichs am stärksten, weil das bewegende Drehmoment hier am kleinsten ist, so daß sich die Rückwirkung der Eigenbewegung des Klöppels hier am meisten bemerkbar machen kann. Dies hat ein Absinken des mittleren Schalldrucks zur Folge. Bei großen Wechselflüssen tritt diese Erscheinung schon beträchtlich unterhalb der theoretischen oberen Grenze des Arbeitsbereichs auf. Die Werte für den Wechselfluß, von denen ab der Schalldruck abzusinken beginnt, sind in Abb. 20 eingetragen. Oberhalb dieser Grenze werden die Unregelmäßigkeiten der Ankerbewegung immer größer, bis dieser schließlich überhaupt nicht mehr umlegt. Diese Grenzkurve verläuft parallel zu der theoretischen oberen Grenze; es zeigt sich, daß, wie schon auf Grund der Rechnung zu erwarten war, der Arbeitsbereich mit dem Gleichfluß wächst.

Zusammenfassend ist zu sagen, daß, wie der Vergleich von Rechnung und Experiment zeigt, die Näherungslösung für den Umlegevorgang mit der Annahme eines vollkommen starren Klöppels den wirklichen Vorgang mit hinreichender Genauigkeit beschreibt.

Zu Punkt b) Ansprechwechselfluß des Signalsenders in Abhängigkeit von der Frequenz. Diese Frage ist von Wichtigkeit für den Fall, daß man aus betrieblichen Gründen das System mit verschiedenen Frequenzen betreiben muß. Es hatte sich gezeigt, daß verschieden aufgebaute Systeme in der Frequenzabhängigkeit ihres Ansprechwechselflusses sich gänzlich verschieden verhielten. Auch dies läßt sich anhand der Bewegungsgleichung und ihrer Lösungen deuten. Man ermittelt zunächst aus den Kurven: Umlegezeit in Abhängigkeit vom Wechselfluß mit Gleichfluß als Parameter (siehe Abb. 8) die Grenzkurven des Ansprechbereichs für die verschiedenen möglichen Betriebsfrequenzen. Hierbei gilt immer die schon früher aufgestellte Bedingung, daß der Klöppel während des Anliegens an einem Polschuh genügend Zeit zum Durchschwingen haben muß. In Abb. 21a sind diese Kurven mit Wechsel- und Gleichfluß als Abszissen und Ordinaten wiedergegeben. Hieraus lassen sich für die verschiedenen Gleichflüsse die Kurven Ansprechwechselfluß in Abhängigkeit von der Frequenz bestimmen. Es ergibt sich, daß bis zu einer gewissen Frequenz der Ansprechfluß konstant ist, um dann plötzlich sehr rasch anzusteigen. Die Frequenz, von der ab dieses Ansteigen auftritt, wächst mit dem Gleichfluß an. Vergleicht man diese Ergebnisse mit den Meßergebnissen, so zeigt sich zwar grundsätzlich das gleiche Verhalten; die Frequenz, bei der dieses Ansteigen der Ansprechleistung auftritt, liegt jedoch wesentlich höher als bei den rechnerisch ermittelten Kurven.

Aber auch hierfür läßt sich die Erklärung finden, wenn man die Ergebnisse des Ab-

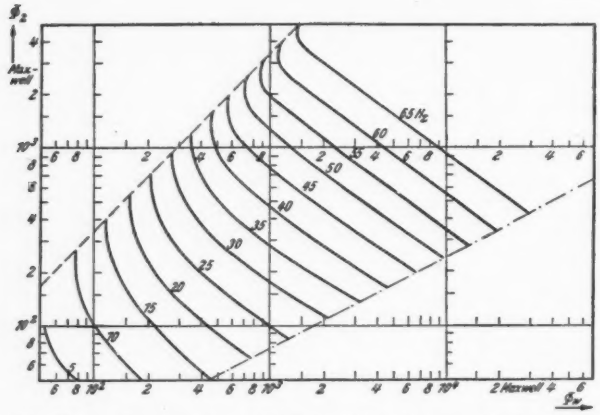



Abb. 21 a. Grenzen des Arbeitsbereichs für verschiedene Frequenzen (Klöppel starr)

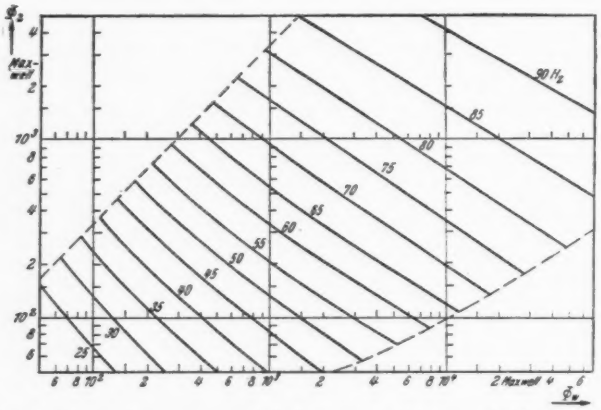



Abb. 21 b. Grenzen des Arbeitsbereichs für verschiedene Frequenzen (Klöppel elastisch)

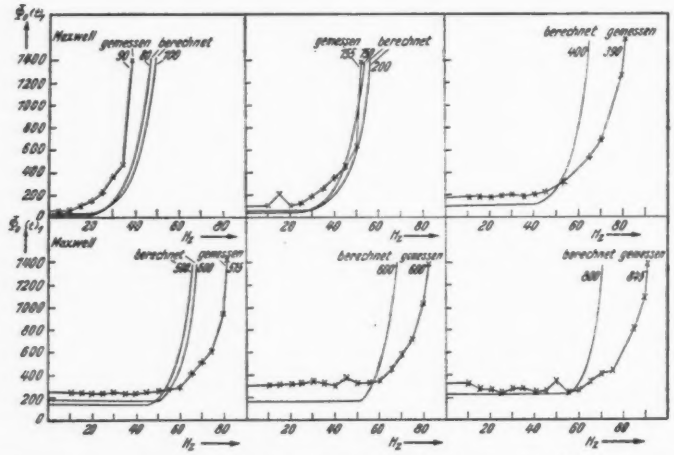



Abb. 22. Ansprechwechselfluß in Abhängigkeit von der Antriebsfrequenz (gemessen und berechnet). Gleichfluß als Parameter in Maxwell

schnitts IV mit in Betracht zieht. Dort war gezeigt worden, daß zu Beginn des Umlegevorganges praktisch nur der Anker in Bewegung gerät. Dies bedeutet, daß zu diesem Zeitpunkt als hemmendes Trägheitsmoment nur das des Ankers in Frage kommt; mithin ist für das Ansprechen nur mit diesem zu rechnen. Im weiteren Verlauf des Umlegevorganges macht sich dann natürlich auch die Hemmung durch das Trägheitsmoment des Klöppels bemerkbar, da aber der Anker nun schon in Bewegung geraten ist, spielt dies für das Ansprechen an sich keine Rolle. Ermittelt man nun in entsprechender Weise die Ansprechkurven für den Anker allein (Abb. 21 b), so zeigt sich, daß der Ansprechwechselfluß für tiefe Frequenzen der gleiche ist wie für den Fall, daß das gesamte Gebilde starr ist, daß aber der plötzliche Anstieg mit der Frequenz erst bei höheren Frequenzen auftritt. Diese Frequenzen, bei denen dies Steigen einsetzt, stimmen aber so gut wie es der Meßgenauigkeit nach zu erwarten ist, mit der Messung überein (siehe Abb. 22). Nur der Anstieg selbst ist bei höheren Gleichflüssen weniger stark als in der Rechnung. Dies ist auch erklärlich, da man sich hier schon mehr der Eigenfrequenz des Klöppels nähert, wo die für die Rechnung gemachten Voraussetzungen nicht mehr zutreffen.

Die tatsächlich gemessenen Ansprechwechselflüsse liegen dabei immer etwas höher als die rechnerisch ermittelten (etwa um 50 bis 80 Gauß). Dieser zusätzlich aufzubringende Fluß wird zur Überwindung der in der Rechnung nicht berücksichtigten, aber stets vorhandenen Luft- und Lagerreibung benötigt, was ohne weiteres einleuchtet, wenn man bedenkt, daß dieser Fluß an den Polflächen einem Drehmoment

von nur 0,6—1,5 g · cm entspricht. Es ergibt sich also auch hier eine hinreichend gute Bestätigung der Theorie durch die Messungen.

## VI. Zusammenfassung

Akustische Kleinsignalsender werden in der Form von Weckern, Schnarren und Hupen besonders in der Fernsprechtechnik in weitestem Umfange verwendet. An diese Geräte werden meist gewisse betriebliche Anforderungen gestellt; so ist zum Beispiel erwünscht, daß sie schon bei kleiner zugeführter elektrischer Scheinleistung imstande sind, eine möglichst große Lautstärke zu erzeugen, so daß das Signal in einer Wohnung, einem Gebäudeteil oder auch im Freien in einem gewissen Umkreise wahrgenommen werden kann. Ferner ist erwünscht, daß die zugeführte elektrische Leistung und bei Wechselstromgeräten auch die Betriebsfrequenz in bestimmten Grenzen schwanken dürfen, ohne daß dies zum Versagen des Gerätes führt. Außerdem sollen sie, da sie auch in tragbaren Geräten Verwendung finden, klein und leicht sein, und schließlich sollen sie leicht zu fertigen sein. Für die Gesamtheit dieser Anforderungen eignet sich der Kleinsignalsender mit elektromagnetischem Antrieb am besten.

Akustische Großsignalsender, die ihre Signale im Freien über große Entfernungen übertragen sollen, sind in der Regel anders aufgebaut. Hier ist ein hoher Wirkungsgrad bei großen Leistungen erwünscht, während andererseits die Leistung und Antriebsfrequenz nicht in dem gleichen Umfange schwanken wie beim Kleinsignalsender. Für das Gewicht und die Abmessungen gelten nicht die gleichen Beschränkungen wie beim Kleinsignalsender. Dies hat dazu geführt, daß sich für Großsignalsender die mannigfaltigsten Ausführungsformen eingebürgert haben.

In der vorliegenden Arbeit ist der zweiseitige, gepolte elektromagnetische Wechselstromantrieb, der gegenüber dem Gleichstromantrieb die größere technische Bedeutung hat, einer eingehenderen Betrachtung unterzogen worden. Als praktisches Anwendungsbeispiel wurde hierbei der u. a. in der Tischstation W 28 der Deutschen Reichspost verwendete Wecker (Typenbezeichnung Fg wck 7, Ausführung Siemens & Halske) ausgewählt. Es wurde die für Anker und Klöppel geltende Bewegungsgleichung mit Hilfe eines Näherungsverfahrens gelöst. Hierbei ist vorausgesetzt, daß Klöppel und Anker ein zusammenhängendes starres System bilden.

Als Lösungen ergeben sich die Kurven: Drehweg und Drehgeschwindigkeit für Anker und Klöppel in Abhängigkeit von der Zeit. Der Drehweg ist der Weg, den Anker und Klöppel beim Umlegen aus einer Ruhestellung in die andere beschreiben. Er beträgt beim untersuchten System 1,9 Grad. Als Parameter werden für die Lösung benutzt: a) eine Konstante $C$, deren Wert dem Trägheitsmoment des Gesamtgebildes umgekehrt proportional ist; b) das Verhältnis der Wechselflußamplitude zum Gleichfluß.

Die Kurven: Drehwinkel in Abhängigkeit von der Zeit lassen sich mit guter Annäherung durch die Beziehung $\varphi = k\, t^n$ darstellen. Hierbei unterschreitet $n$ den Wert 2 nicht und liegt in den meisten Fällen zwischen 2,5 und 4. Die Annäherung an den Exponenten 2 findet für große Werte des Verhältnisses Wechsel- zu Gleichfluß, die Annäherung an große Werte des Exponenten für kleine Werte des gleichen Verhältnisses statt. Die Umlegezeiten liegen für das betrachtete Beispiel bei 25 Hz zwischen 1 und 15 Millisekunden.

Die Kurven: Drehwinkelgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit, sind von besonderer Bedeutung, weil sich aus ihnen die Endgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Wechselfluß bei konstantem Gleichfluß bestimmen läßt. Dieser Endgeschwindigkeit ist aber auch die Endgeschwindigkeit, mit der das Schlaggewicht auf die Klangkörper trifft, proportional. Der Auftreffgeschwindigkeit ist schließlich der von den Klangkörpern abgestrahlte Schalldruck proportional.

Weiterhin ergibt sich ein gewisser Arbeitsbereich für das System in Abhängigkeit von Gleich- und Wechselfluß. Bei sehr kleinen Gleich- und Wechselflüssen arbeitet das System nicht, weil die Umlegezeiten dann zu lang werden. Eine weitere Begrenzung ist dadurch gegeben, daß das Verhältnis Wechsel- zu Gleichfluß einen bestimmten festen Wert nicht unter-

schreiten kann, weil das System sonst nicht anspricht. Dieser Wert liegt beim untersuchten System bei etwa $Q = 0{,}3$ ($Q$ = Wechselflußamplitude $\Phi_W$ zu Teilgleichfluß $\Phi_2$ im Arbeitsluftspalt.) Ferner kann das Verhältnis Wechsel- zu Gleichfluß gewisse Werte nicht überschreiten, weil dann schon kurz nach Beginn des Umlegevorganges ein rückwärts gerichtetes Drehmoment entsteht, das den Anker wieder in seine Ausgangslage zurückdreht. Dieses Verhältnis ist aber nicht konstant, sondern wächst mit zunehmendem Gleichfluß; der Arbeitsbereich des Systems wird also um so größer, je größer der Gleichfluß ist. Eine weitere Begrenzung des Arbeitsbereichs ergibt sich schließlich noch durch die Übersättigung der Eisenquerschnitte bei großen Gleich- und Wechselflüssen.

Innerhalb dieses Arbeitsbereiches können die Kurven konstanter Endgeschwindigkeit mit ziemlich guter Annäherung durch die Beziehung $\Phi_W^2 \cdot \Phi_2 = \text{const.}$ dargestellt werden. Berechnet man das Verhältnis von Enddrehgeschwindigkeit des Ankers und Klöppels zum Wechselfluß, so ergibt sich der Höchstwert dieses Quotienten unmittelbar oberhalb der Ansprechgrenze. Für die Ansprechempfindlichkeit besteht nur eine geringe Abhängigkeit von der Kurvenform des Wechselflusses, da die Ankerendgeschwindigkeit in erster Linie vom zeitlichen Mittelwert des Wechselflusses während des Umlegens abhängt.

Da die ermittelten Ergebnisse für einen vollkommen starren Klöppel abgeleitet wurden, dieser aber in Wirklichkeit eine gewisse Elastizität besitzt, wurde anschließend noch der Einschwingvorgang unter Berücksichtigung dieser Elastizität ermittelt, und zwar für den Fall, daß ein Drehmoment von der Form $D = c \cdot t^n$ auf den Anker einwirkt. Es zeigt sich, daß der Anker sich anfangs so bewegt, als ob gar kein Klöppel vorhanden wäre, und daß erst später seine Bewegung sich immer besser derjenigen annähert, die er bei vollkommen starrem Klöppel ausführen würde. Dagegen bewegt sich das Schlaggewicht von Anfang an mit großer Annäherung so, als ob der Klöppel vollkommen starr wäre. Außerdem überlagert sich der Gesamtbewegung noch eine gedämpfte Drehschwingung, bei der Anker und Schlaggewicht gegenphasig schwingen, wobei ihre Amplituden ihren auf die Drehachse bezogenen Trägheitsmomenten umgekehrt proportional sind. Insgesamt ergibt sich aus diesem Voreilen des Ankers eine etwas größere Endgeschwindigkeit des Schlaggewichts als bei vollkommen starrem Klöppel.

Die Tatsache, daß anfänglich sich nur der Anker allein bewegt, macht sich auch bemerkbar, wenn man die Beziehung: Ansprechwechselfluß in Abhängigkeit von der Frequenz aufstellt. Diese Kurven sind für niedrige Frequenzen nicht von der Frequenz abhängig; erst von einer gewissen Grenzfrequenz ab wächst der Ansprechwechselfluß stark mit der Frequenz an. Diese Grenzfrequenz steigt mit wachsendem Gleichfluß. Die Ergebnisse von Beobachtung und Rechnung stimmen gut überein, wenn man mit dem Trägheitsmoment des Ankers allein rechnet, was auch einleuchtet, da ja nur dieses zu Anfang der Bewegung maßgebend ist.

Ferner zeigt sich gute Übereinstimmung, wenn man den Verlauf der berechneten Kurven: Endgeschwindigkeit des Schlaggewichts, und der gemessenen Kurven: Abgegebener Schalldruck des Signalsenders, beide in Abhängigkeit vom Wechselfluß bei denselben Gleichflüssen bestimmt und miteinander vergleicht. Für ein gegebenes System ist also der abgebbare Schalldruck in erster Linie von der Endgeschwindigkeit des Schlaggewichts abhängig.

## Anhang I

### Lösung der Bewegungsgleichung. (Abschnitt III, 2)

Bei Unterteilung des Weges in $n$ gleiche Teile mit jeweils konstanter Beschleunigung längs eines Wegelements gilt für das $n$-te Wegelement $\Delta\varphi_n$ die Beziehung:

$$\frac{d^2(\Delta\varphi_n)}{dt^2} = c_{n1}; \tag{26}$$

hieraus folgt:

$$\Delta\varphi_n = \frac{1}{2}\, c_{n1} t^2 \int_{t_{n-1}}^{t_n} + c_{n2} \cdot t \int_{t_{n-1}}^{t_n} + c_{n3}\,. \tag{27}$$

Setzt man: $t \int_{t_{n-1}}^{t_n} = \Delta t_n$, so ist:

$$\frac{1}{2} \cdot c_{n1} \Delta t_n^2 + c_{n2} \Delta t_n + c_{n3} = \Delta \varphi_n . \tag{28}$$

Für $t = T_0$ ist: $\Delta \varphi = 0$, also ist: $c_{n3} = 0$.

Ferner ist zu Beginn der Bewegung die Geschwindigkeit des Systems Null, also ist: $c_{12} = 0$.

Daraus folgt für das erste Wegelement:

$$\Delta \varphi_1 = \frac{1}{2} c_{11} \Delta t_1^2 .$$

Für die weiteren Wegelemente ist die Anfangsgeschwindigkeit gleich der jeweils am Ende des vorhergehenden Wegelements erreichten Endgeschwindigkeit. Demnach ist:

$$\Delta \varphi_n = \frac{1}{2} c_{n1} \cdot \Delta t_n^2 + \dot{\varphi}_{e\,n-1} \cdot \Delta t_n . \tag{29}$$

In dieser Gleichung ist für jedes $n$-te Wegelement: $\Delta \varphi_n = \frac{\varphi_0}{n} = \Delta \varphi$ und $\dot{\varphi}_{e\,n-1}$ bekannt. $c_{n1}$ ist abhängig von den Systemdaten und ferner von der Zeit.

Die eigentliche rechnerische Aufgabe besteht darin, für das betreffende $n$-te Wegelement den Wert von $\Delta t_n$ so zu bestimmen, daß mit dem sich hierbei für $c_{n1}$ ergebenden Wert die Gleichung (7) befriedigt wird. Diese Gleichung wird zur bequemeren rechnerischen Auswertung noch etwas umgeformt:

Es ist:

$$c_{11} = \ddot{\varphi}_1 = \frac{2 \Delta \varphi}{\Delta t_1^2}$$

und damit

$$\dot{\varphi}_{e1} = \ddot{\varphi}_1 \Delta t_1 = \frac{2 \Delta \varphi}{\Delta t_1} = c_{22} ;$$

ferner ist:

$$c_{21} = \ddot{\varphi}_2 = \frac{2 (\Delta \varphi - c_{22} \Delta t_2)}{\Delta t_2^2}$$

$$\dot{\varphi}_{e2} = \dot{\varphi}_{e1} + \ddot{\varphi}_2 \Delta t_2 = c_{32} = 2 \Delta \varphi \left[ \frac{1}{\Delta t_2} - \frac{1}{\Delta t_1} \right]$$

und schließlich:

$$\dot{\varphi}_{e\,n-1} = 2 \Delta \varphi \left[ \frac{1}{\Delta t_{n-1}} - \frac{1}{\Delta t_{n-2}} + \frac{1}{\Delta t_{n-3}} - + \cdots \right], \tag{30}$$

so daß die Ausgangsgleichung die Form annimmt:

$$\begin{aligned} \Delta \varphi &= \frac{1}{2} \ddot{\varphi}_n \Delta t_n^2 \\ &\quad + 2 \Delta \varphi \left[ \frac{1}{\Delta t_{n-1}} - \frac{1}{\Delta t_{n-2}} + \frac{1}{\Delta t_{n-3}} - + \right] \Delta t_n , \end{aligned} \tag{31}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \ddot{\varphi}_n \Delta t_n^2 = \Delta \varphi \Bigg[ 1 - 2 \Delta t_n \Bigg( &\frac{1}{\Delta t_{n-1}} - \frac{1}{\Delta t_{n-2}} \\ &+ \frac{1}{\Delta t_{n-3}} - + \cdots \Bigg) \Bigg] . \end{aligned}$$

Setzt man:

$$4 \pi \cdot 2 \Delta \varphi \cdot \frac{\Theta}{r} \cdot \frac{F_1}{\Phi_2^2} = C ,$$

so wird:

$$\begin{aligned} C \Bigg[ 1 - 2 \Delta t_n \Bigg( &\frac{1}{\Delta t_{n-1}} - \frac{1}{\Delta t_{n-2}} + \frac{1}{\Delta t_{n-3}} - + \cdots \Bigg) \Bigg] \\ &= \Delta t_n^2 \Bigg\{ \frac{((\Phi_1/\Phi_2)\, b_1(\varphi)_n - Q \cdot f(t))^2}{a_1(\varphi)_n} \\ &\qquad - \frac{(b_2(\varphi)_n - Q \cdot f(t))^2}{(F_2/F_1) \cdot a_2(\varphi)_n} \Bigg\} , \end{aligned} \tag{32}$$

wobei:

$$Q = \frac{\Phi_w}{\Phi^2} , \qquad \Phi_W = \frac{\Phi(t)}{f(t)} .$$

Man setzt, mit dem ersten Wegelement beginnend, die zugehörigen Werte von $b_{12}(\varphi)_n$; $a_{12}(\varphi)_n$ ein und bestimmt im Näherungsverfahren $\Delta t_n$ so, daß die rechte Seite der Gleichung gleich der linken Seite wird. Dann geht man zum zweiten Wegelement über und führt hier das gleiche Verfahren durch, wobei der für $\Delta t_{n1}$ gewonnene Wert berücksichtigt wird.

## Anhang II

### Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der Ströme und Spannungen beim plötzlichen Einschalten einer zeitlich konstanten EMK an das Ersatzschaltbild für den Anker mit elastischem Klöppelstiel (Abschnitt IV (2))

Durch Umformen der Gl. (12)

$$J = U \cdot \frac{1}{p L_0 + \dfrac{(R_1 + 1/p C_1)\, p L_2}{p L_2 + R_1 + 1/p C_i}}$$

ergibt sich:

$$\begin{aligned} J = U \cdot &\frac{1}{L_0 + L_2} \cdot \frac{1}{p} \\ &\cdot \frac{p^2 + R_i/L_2\, p + 1/L_2 C_1}{p^2 + R_1 \cdot \dfrac{L_0 + L_2}{L_0 L_2} p + \dfrac{L_0 + L_2}{L_0 L_2} \cdot \dfrac{1}{C_1}} . \end{aligned} \tag{33}$$

Setzt man $\frac{1}{L_0} + \frac{1}{L_2} = \frac{1}{L'}$, so läßt sich der Nenner in folgender Form schreiben:

$$(p - p_1)(p - p_2) ,$$

wobei:

$$p_{12} = -\frac{R_1}{2 L'} \pm \sqrt{\frac{1}{L' C_1} - \left( \frac{R_1}{2 L'} \right)^2} . \tag{34}$$

Bei dem betrachteten Gebilde ist:

$$\frac{1}{L' C_1} > \left( \frac{R_1}{2 L'} \right)^2 ,$$

so daß

$$p_{12} = -\frac{R_1}{2 L'} \pm i \sqrt{\frac{1}{L' C_1} - \left( \frac{R_1}{2 L'} \right)^2} \tag{35}$$

wird.

Mit den Bezeichnungen:

$$\left(\frac{R_1}{2L'}\right) = \alpha'; \quad \frac{1}{L'C_1} = \omega_0'^2$$

wird:

$$p_{12} = -\alpha' \pm \sqrt{\omega_0'^2 - \alpha'^2} = -\alpha' \pm i\,\omega'$$

und ferner ist:

$$J = U \cdot \left[\frac{p L_2 + R_1 + 1/p C_1}{p(p-p_1)(p-p_2)}\right]. \tag{36}$$

Der Klammerausdruck stellt den sogenannten Widerstandsoperator dar. Der zeitliche Verlauf von $J$ ergibt sich nach den Verfahren der Operatorenrechnung durch „Anwendung des Operators auf die Zeitfunktion $U \cdot 1$". U · 1. ist die angelegte Spannung, die zu dem Zeitpunkt Null plötzlich von dem Wert Null auf den Wert $U$ springt und diesen dann beibehält. Diese Rechnung ist bei K. W. WAGNER bereits für eine Reihe häufig vorkommender Operatoren durchgeführt worden. Durch Zerlegen unseres Widerstandsoperators in Partialbrüche läßt sich dieser auf einfache Operatoren zurückführen. Es ist:

$$\begin{aligned}\frac{(p L_2 + R_1 + 1/p C_1)}{p(p-p_1)(p-p_2)} &= \frac{1}{L_2 C_1} \cdot \frac{1}{p_1 p_2} \cdot \frac{1}{p} \\ &+ \frac{1}{p_1 - p_2}\left\{\frac{p_1^2 + (R_1/L_2)\,p_1 + (1/L_2 C_1)}{p_1} \cdot \frac{1}{p-p_1}\right. \\ &\left. - \frac{p_2^2 + (R_1/L_2)\,p_2 + 1/L_2 C_1}{p_2} \cdot \frac{1}{p-p_2}\right\}.\end{aligned} \tag{37}$$

In dieser Gleichung kommen die Operatoren: $\frac{1}{p}$ und $\frac{1}{p-p_{12}}$ vor, zu denen die zeitlichen Abläufe: $t$ und $e^{p_{12}t} - 1$ gehören. Dann ist:

$$\begin{aligned}J = \frac{1}{p_1 - p_2}&\left\{\frac{p_1^2 + (R_1/L_2)\,p_1 + 1/L_2 C_1}{p_1^2}(e^{p_1 t} - 1)\right. \\ &\left. - \frac{p_2^2 + (R_1/L_2)\,p_2 + 1/L_2 C_1}{p_2^2}(e^{p_2 t} - 1)\right\} \\ &+ \frac{1}{L_2 C_1} \cdot \frac{1}{p_1 p_2}\, t.\end{aligned} \tag{38}$$

Setzt man die Werte für $p_1$ und $p_2$ ein, so ergibt sich:

$$J = U \cdot \left[\frac{t}{L_0 + L_2} + e^{-\alpha' t} \cdot \frac{1}{\omega' L_0} \cdot \frac{L'}{L_0} \cdot \sin \omega' t\right]. \tag{13}$$

In ähnlicher Weise folgt für die Ströme in den beiden Stromzweigen:

$$J_C = -U \cdot \left[e^{-\alpha' t} \cdot \frac{1}{\omega' L_0} \cdot \sin \omega' t\right], \tag{14}$$

$$J_L = U\left[\frac{t}{L_0 + L_2} - e^{-\alpha' t} \cdot \frac{1}{\omega' L_0} \cdot \frac{L'}{L_0} \cdot \sin \omega' t\right]. \tag{15}$$

Der zeitliche Verlauf der Spannung am Kondensator ergibt sich in entsprechender Weise zu:

$$\begin{aligned}U_c = U \frac{L_2}{L_0 + L_2}&\left[1 - e^{-\alpha' t}\left(\cos \omega' t\right.\right. \\ &\left.\left. + \frac{\alpha'}{\omega'} \sin \omega' t\right)\right].\end{aligned} \tag{17}$$

## Anhang III

### Ermittlung des zeitlichen Verlaufs der Ströme und Spannungen beim plötzlichen Einschalten einer mit der Zeit ansteigenden EMK an das Ersatzschaltbild für den Anker mit elastischem Klöppelstiel (Abschnitt IV (3))

In der Theorie der Ausgleichsvorgänge wird für den Fall, daß die Spannung nicht zeitlich konstant ist, folgende Beziehung für den Strom abgeleitet.

$$J(t) = U(t) \cdot A(0) - \int_0^t U(z) \frac{d}{dz} A(t-z)\, dz. \tag{18}$$

$J(t)$ bzw. $U(t)$ = Strom bzw. Spannung zur Zeit $t$.
$U(z)$ Zeitabhängigkeit der Spannung während ihres Verlaufs vom Zeitpunkt 0 bis zum Zeitpunkt $t$.
$A(0)$ bzw. $A(t-z)$ zum Widerstandsoperator gehörige Übertragungsfunktion zur Zeit $(t-z)$ bzw. 0.

Setzt man für die Spannung $U(t)$ die Beziehung $k \cdot t^n$ ein, so ergibt sich mit dem Widerstandsoperator des betrachteten Ersatzschaltbildes für $n = 0$ die bereits im Abschnitt IV (2) abgeleitete Beziehung:

$$J = U\,[a\,t + e^{-bt} \cdot c \cdot \sin d\,t]. \tag{39}$$

Hierbei ist (vgl. Gl. 13)

$$\begin{aligned}\frac{1}{L_0 + L_2} &= a, \quad \alpha' = b; \\ \frac{1}{\omega' L_0} &= \frac{L'}{L_0} = c; \quad \omega' = d.\end{aligned} \tag{40}$$

Dann ist:

$$A(0); \quad A(t) = -a\,t + e^{-bt} \cdot c \cdot \sin d\,t,$$

außerdem:

$$A(t-z) = a(t-z) + e^{-b(t-z)} \cdot c \cdot \sin d(t-z)$$

und schließlich:

$$\begin{aligned}\frac{d}{dz} A(t-z) = &-a + b \cdot e^{-b(t-z)} \cdot c \cdot \sin d(t-z) \\ &- d \cdot e^{-b(t-z)} \cdot c \cdot \cos d(t-z).\end{aligned} \tag{41}$$

Mit Hilfe dieser Ausdrücke gewinnt man das allgemeine Integral für $J(t)$ für den Fall, daß $U = k \cdot t^n$ ist.

$$\begin{aligned}J(t) = -\int_0^t z^n [&-a + c\,e^{-b(t-z)} \cdot b \sin d(t-z) \\ &- d \cos d(t-z)]\, dz.\end{aligned} \tag{42}$$

Die Lösung des Integrals geschieht nach den bekannten Methoden und hat für den Fall $n = 1$ die Lösung:

$$\begin{aligned}J(t)_1 = a\frac{t^2}{2} &+ e^{-bt} \cdot \sin d\,t\left(t - \frac{b}{b^2 + d^2}\right) \\ &+ (1 - e^{-bt} \cos d\,t)\frac{d}{b^2 + d^2}.\end{aligned} \tag{43}$$

Für $n = 2$ ergibt sich:

$$\begin{aligned}J(t)_2 = a\frac{t^3}{3} &+ e^{-bt} \cdot \sin d\,t\left(t^2 - \frac{1 \cdot 2 \cdot b}{b^2 + d^2} \cdot t + \frac{2 \cdot 2 \cdot b}{(b^2 + d^2)^2}\right) \\ &+ (1 - e^{-bt} \cdot \cos d\,t)\left(-\frac{1 \cdot 2 \cdot d}{b^2 + d^2} \cdot t + \frac{2 \cdot 2 \cdot d}{(b^2 + d^2)^2}\right).\end{aligned}$$

Als allgemeine Form der Lösung ergibt sich auf Grund einer ausführlichen Rechnung und nach Einsetzen der Werte für $a$, $b$, $c$ und $d$ folgender allgemeiner Ausdruck für den Strom unter der Einwirkung einer Spannung: $U = k \cdot t^n$

$$J(t)_n = K\left[\frac{1}{L_0+L_2}\cdot\frac{t^{n+1}}{n+1}+\frac{1}{\omega' L_0}\right.$$
$$\cdot\frac{L'}{L_0}\left\{e^{-\alpha' t}\sum_{\mu=0}^{\mu=n}\cdot\frac{1}{r^\mu}\cdot t^{n-\mu}\binom{n}{\mu}\mu!\,(-1)^\mu\right. \tag{23}$$
$$\left.\cdot\sin(\omega' t+\mu\beta)-\sum_{\mu=0}^{\mu=n}\cdot\frac{1}{r^\mu}\cdot t^{n-\mu}\right.$$
$$\left.\left.\cdot\binom{n}{\mu}\mu!\,(-1)^\mu\sin\mu\beta\right\}\right]\cdot$$

Hierbei ist:

$$\sin\beta=\frac{\omega'}{\sqrt{\alpha'^2+\omega'^2}};\qquad \cos\beta=\frac{\alpha'}{\sqrt{\alpha'^2+\omega'^2}};$$
$$r=\sqrt{\alpha'^2+\omega'^2}.$$

Die Ausdrücke für $J_C$ und $J_L$ ergeben sich in entsprechender Weise.

Durch Einsetzen der mechanischen Größen an Stelle ihrer elektrischen Entsprechungen ergeben sich die Winkelgeschwindigkeiten von Anker und Schlaggewicht, sowie die zeitliche Änderung der Durchbiegung des Klöppelstiels.

Aus diesen Größen gewinnt man durch Integrieren nach der Zeit die Ausdrücke für den Ankerdrehweg, den Schlaggewichtsdrehweg sowie für die Gesamtdurchbiegung des Klöppelstiels. Die Werte sind in IV (5) angegeben.

### Schrifttum


1) H. Hecht: Die elektroakustischen Wandler. Leipzig 1941.

2) F. Pfleiderer und F. Seide: Über Auswahl und Beurteilung von elektrischen Weckern in der Fernsprechtechnik. Techn. Mitt. des Fernmeldewerks, Abt. für Fernsprechgerät. Bd. Fg. 2, Heft 1, S. 15, 1937.

3) K. W. Wagner: Operatorenrechnung nebst Anwendungen in Physik und Technik. Leipzig 1940.

4) W. Hähnle: Die Darstellung elektromechanischer Gebilde durch rein elektrische Schaltbilder. Wissenschaftl. Veröff. aus dem Siemens-Konzern, XI. Bd., 1. Heft, 1932.

5) Stryker: Sound Tests of Ringers and Dials. Bell Lab. Rec. Vol. 18, S. 343, 1939/40.


*(Eingegangen am 16. November 1943.)*

# PATENTSCHAU

Bearbeitet von Karl Patermann

*Deutsches Patent Nr. 705583, patentiert vom 25. 7. 37, ausgegeben am 3. 5. 41*

**Einrichtung zur stetigen Bandbreitenregelung**

Zusatz zum DRP. 684803 vom 22. 12. 36

Im Hauptpatent ist eine Anordnung zur stetigen Regelung der Bandbreite eines aus zwei gekoppelten Schwingungskreisen bestehenden Bandfilters beschrieben, welche sich praktisch verstimmungsfrei zeigt. Es wird eine kleine, in Reihe mit der Hauptspule des einen Schwingungskreises geschaltete Kopplungsspule gegenüber der Spule des anderen Schwingungskreises in der allen Spulen gemeinsamen Achsrichtung verschoben.

Es bestand die Aufgabe, gleichzeitig mit der Kopplung auch die Dämpfung zu ändern, um die bei größerer Kopplung auftretende Einsattelung der Resonanzkurve zu beseitigen. Nach der Erfindung wird eine Einrichtung zur Bandbreitenregelung durch Verschiebung einer in Reihe mit der Hauptspule des einen Schwingungskreises geschalteten kleinen Kopplungsspule gegenüber der Spule des anderen Schwingungskreises nach dem Hauptpatent derart ausgebildet, daß eine Dämpfungswindung oder -wicklung mechanisch mit der kleinen Kopplungsspule fest verbunden und derart in der gemeinsamen Achsrichtung aller Spulen angeordnet ist, daß sie bei größerer Kopplung den nicht zu der kleinen Kopplungsspule gehörigen Schwingungskreis dämpft.

*Deutsches Patent Nr. 705827, patentiert vom 8. 9. 35, ausgegeben am 10. 5. 41*

**Kapazitives Mikrophon mit bevorzugt einseitiger Schallaufnahme**

Zweck der Erfindung ist die Entwicklung eines kapazitiven Mikrophons, welches unter Beibehaltung seiner guten übertragungstechnischen Eigenschaften Schall aus einer bestimmten Einfallsrichtung bevorzugt aufnimmt und für die übrigen Einfallsrichtungen wenig empfindlich ist. Erreicht wird dieses Ziel, wenn bei einem kapazitiven Mikrophon, bei dem eine feste, mit durchgehenden Bohrungen versehene Elektrode zu beiden Seiten je eine Membran trägt, deren Durchmesser nicht größer als die Wellenlänge der höchsten zu übertragenden Frequenz ist, nur eine Membran elektrisch angeschlossen

ist und an sich bekannte Mittel vorgesehen sind, um innerhalb des Übertragungsbereiches eine überwiegende Reibungshemmung der Membran zu erzielen.

*Deutsches Patent Nr. 705913, patentiert vom 9. 9. 38, ausgegeben am 13. 5. 41*

**Verfahren zur Bestimmung der Laufzeit von Vierpolen**

Das neue Verfahren zur Bestimmung der Laufzeit von Vierpolen, bei dem zwei mit der gleichen Frequenz modulierte Trägerfrequenzen, von denen eine veränderbar ist, dem Meßobjekt zugeführt, diese Frequenzen hinter dem Meßobjekt gleichgerichtet, die gleichgerichteten Spannungen zur Ermöglichung eines Nullabgleiches einer Anzeigevorrichtung zugeführt und der Nullabgleich mit Hilfe eines die Modulationsfrequenz beeinflussenden phasendrehenden Netzwerkes durchgeführt werden, insbesondere in Breitbandübertragungssystemen, ist dadurch gekennzeichnet, daß das phasendrehende Netzwerk sendeseitig angeordnet und das Frequenzgemisch nach Durchlaufen des Meßobjektes in einem gemeinsamen Gleichrichter demoduliert und die wiedergewonnene Modulationsspannung einer Anzeigevorrichtung, insbesondere einem Telephonhörer, zugeführt wird. Man kann die Modulationsspannung auch über eine Leitung dem am Sendeorte untergebrachten Telephonhörer zuleiten.

*Deutsches Patent Nr. 706099, patentiert vom 11. 12. 34, ausgegeben am 17. 5. 41*

**Piezoelektrischer Kristall**

Zusatz zum DRP. 664983 vom 13. 10. 32

Im Hauptpatent ist ein als piezoelektrischer Kristall ausgebildeter Isolator oder Resonator mit geringer Strahlungsdämpfung beschrieben, der dadurch gekennzeichnet ist, daß der eigentliche, die gewünschten Schwingungen vollführende Schwingkörper mit seinem von den Schwingungen zu entlastenden, gegebenenfalls aus gleichem Material bestehenden Träger in oder in der Nähe einer neutralen Zone der Schwingungsbewegung starr verbunden ist und daß der Träger hinsichtlich seiner elastischen Eigenschaften im Vergleich mit dem Schwingkörper weich federnd ausgebildet ist.

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine besondere Ausführungsform des Hauptpatentes, bei welcher Schwingkörper und Träger aus einem Stück gleichen Materials bestehen. Ein solcher Schwingkristall ist also als platten- oder stabförmiger Körper ausgebildet, der mit einem oder mehreren zur Halterung dienenden Ansätzen versehen ist, die an dem Schwingungsvorgang nicht unmittelbar teilnehmen und auf die während des Schwingungsvorgangs keine störende Bewegungsenergie übertragen wird.

*Deutsches Patent Nr. 706250, patentiert vom 11. 11. 37, ausgegeben am 21. 5. 41*

**Elektromagnetisches Lichtsteuergerät für Tonaufzeichnungen**

Es sind Lichtsteuergeräte bekannt, bei denen ein mit dem den Lichtstrahl ablenkenden Spiegel belegter Eisenanker zwischen den Polschuhen eines Magneten schwingt. Das Eisenplättchen, das nur eine der Stromstärke verhältnisgleiche Winkeldrehung ausführen soll, erleidet aber noch zusätzliche unerwünschte Schwingungen. Gemäß der Erfindung wird bei einem Lichtsteuergerät mit einem Magneten, dessen einer Pol in bekannter Weise von den Schenkeln des sich gabelnden Pols eingeschlossen wird, der Spiegel auf dem freien ferromagnetischen Ende einer einseitig eingespannten Feder derart befestigt, daß er über dem eingeschlossenen Pol der nebeneinander in einer Ebene liegenden Polschube drehbar angeordnet ist und unter dem Einfluß magnetischer Flußänderungen Torsionsschwingungen ausführt.

*Deutsches Patent Nr. 706268, patentiert vom 17. 5. 39, ausgegeben am 22. 5. 41*

**Kristallfilter veränderbarer Bandbreite**

Zusatz zum DRP. 675313 vom 21. 11. 36

Nach der Erfindung wird bei dem Kristallfilter des Hauptpatents ein größerer Bandbreitenregelbereich erzielt, indem in Reihe mit dem Kristall ein oder mehrere als Längsglieder geschaltete Parallelresonanzkreise eingeschaltet werden, deren Ankopplung oder Abstimmung zur Erweiterung des Bandbreitenregelbereiches zusätzlich veränderbar ist.

*Deutsches Patent Nr. 706494, patentiert vom 23. 12. 37, ausgegeben am 28. 5. 41*

**Vorrichtung zum Dämpfen der Quer- und Längsschwingungen von Leitungsseilen**

Zur Dämpfung der Quer- und Längsschwingungen von Leitungsseilen an den Seileinspannstellen und gleichzeitig zur Verminderung der Biegebeanspru-

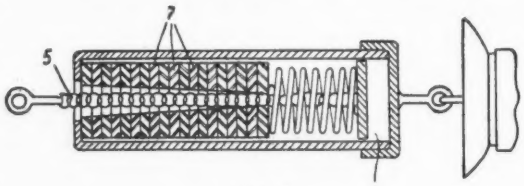



Abb. 1

chungen wird ein einziges System vorgeschlagen, bei dem in bekannter Weise ein den Seilzug aufnehmender Kolben in einem etwa zylindrischen Gefäß auf elastische, vorzugsweise aus Dämpfungs-

scheiben bestehende Mittel einwirkt, durch deren Bohrungen eine zur Kraftübertragung vom Seil zum Kolben dienende Verbindung geführt ist. Die Erfindung wird darin gesehen, daß als kraftschlüssige Verbindung ein gelenkiges Glied (Gelenkkette) (5) dient und daß die elastischen Dämpfungsscheiben (7) von der der Aufhängung zugekehrten Seite zur Austrittsöffnung des gelenkigen Gliedes (5) ihren Bohrungsdurchmesser annähernd stetig vergrößern.

*Deutsches Patent Nr. 706 637, patentiert vom 31. 10. 35, ausgegeben am 31. 5. 41*

**Dämpfungsvorrichtung**

Dämpfungsvorrichtung für im wesentlichen lineare Schwingungen, welche an dem Körper, dessen Schwingungen gedämpft werden sollen, angebaut ist (und die selbst keine Umlaufbewegung macht), gekennzeichnet durch einen Umlaufkörper 4 oder 5, dessen Achse parallel zu der Richtung der zu dämpfenden Schwingungen oder einer Komponente derselben liegt und an dem eine Dämpfungsmasse in der Schwingungsrichtung frei pendelnd aufgehängt ist.

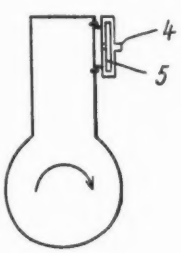



Abb. 2

*Deutsches Patent Nr. 706 975, patentiert vom 25. 6. 38, ausgegeben am 10. 6. 41*

**Verfahren zur Herabsetzung der akustischen Rückkopplung bei mit Mikrophon und Lautsprecher arbeitenden elektroakustischen Übertragungsanlagen (Besprechungsanlagen)**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herabsetzung der akustischen Rückkopplung, mit dem es infolge der Benutzung von Dynamikregelschal-

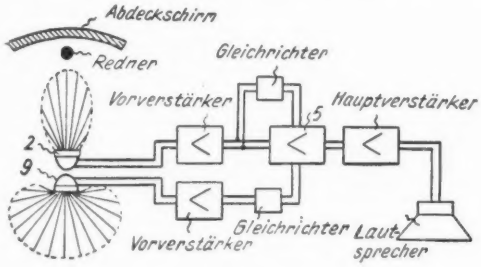



Abb. 3

tungen (5) möglich ist, mit wesentlich höherer Verstärkung zu arbeiten, ehe die Rückkopplung einsetzt. Dies wird dadurch erreicht, daß ein Teil der von dem oder den infolge ihrer Richtcharakteristik im wesentlichen nur den zu verstärkenden Nutzschall aufnehmenden Mikrophonen (2) gelieferten Spannungen während des Auftreffens des Nutzschalles auf das bzw. die Mikrophone zur Erhöhung des Verstärkungsgrades der Anlage benutzt wird, während in den Pausen des Nutzschalles, die von einem oder mehreren zusätzlichen, im wesentlichen nur den Störschall aufnehmenden Richtmikrophonen (9) gelieferten Spannungen zur Herabsetzung des Verstärkungsgrades benutzt werden und daß die Regelkonstanten derart gewählt sind, daß die Regelung innerhalb der praktisch in Betracht kommenden Reflexionslaufzeiten im Raum wirksam wird.

*Deutsches Patent Nr. 707 157, patentiert vom 8. 6. 32, ausgegeben am 14. 6. 41*

**Elektrodynamischer Lautsprecher**

Elektrodynamischer Lautsprecher mit mehreren verschieden großen, koaxial ineinander angeordneten Konusmembranen (1 und 2), dadurch ge-

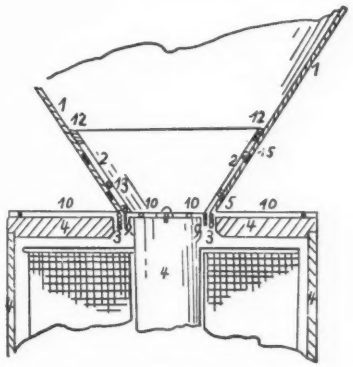



Abb. 4

kennzeichnet, daß die Membranen mit voneinander getrennten, mit dem Signal gleichsinnig erregten Schwingspulen (3 und 9) betrieben werden, welche in denselben Luftspalt tauchen, und daß die Membranen im kleinen Abstand von der Größenordnung des Luftspaltes voneinander angeordnet sind.

*Deutsches Patent Nr. 707 367, patentiert am 10. 7. 38, ausgegeben am 20. 6. 41*

**Schalldämpfer für Brennkraftmaschinen, deren Abgase zur Heizung eines Kessels dienen**

Es wird vorgeschlagen, vor und hinter der Abgaskesselheizfläche (5) oder eines Teiles dieser Heizfläche Dämpfungskammern (1 und 2) anzuordnen, durch welche die tiefen Frequenzen ausgefiltert

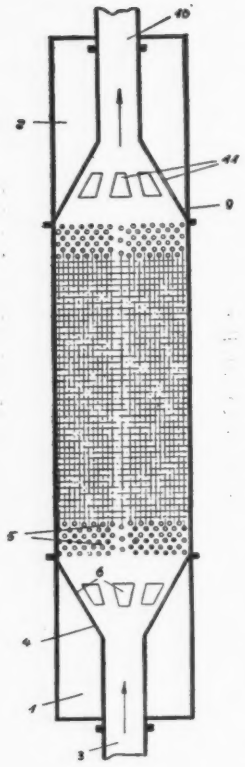



Abb. 5

werden, während die hohen Frequenzen durch den Abgaskessel (5) selbst beseitigt werden.

*Deutsches Patent Nr. 707538, patentiert vom 14. 7. 37, ausgegeben am 25. 7. 41*

**Verstärker mit nachgeschaltetem elektrodynamischem Lautsprecher**

Verstärker mit nachgeschaltetem elektrodynamischem Lautsprecher, bei dem eine neben der Antriebsspule des Lautsprechers angeordnete mitbewegte Hilfsspule eine Gegenkoppelungsspannung auf den Eingang einer Stufe des Verstärkers liefert, dadurch gekennzeichnet, daß die von der Antriebsspule *T* auf die Hilfsspule *H* auch im Ruhezustand des Lautsprechers unmittelbar induzierte Spannung durch eine mittels eines Transformators *Tr*, dessen Primärwicklung in Reihe mit der Antriebsspule und dessen Sekundärwicklung in Reihe mit der Hilfsspule geschaltet ist, gewonnene entgegengesetzt gleiche Spannung in ihrer Wirkung auf den Eingang einer Verstärkerstufe *V* aufgehoben ist.

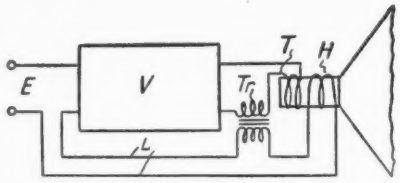



Abb. 6

*Deutsches Patent Nr. 707707, patentiert vom 10. 11. 37, ausgegeben am 1. 7. 41*

**Lautsprechanordnung**

Die Erfindung betrifft eine aus mehreren selbständigen, zur Wiedergabe verschiedener Frequenzbereiche geeigneten Systemen (*M* und *H*) bestehende Lautsprecheranordnung, bei der mehrere Schwingspulen dem gleichen Magnetsystem zugeordnet sind und die zur Wiedergabe der höchsten Frequenzen bestimmte Membran mit einem innerhalb der

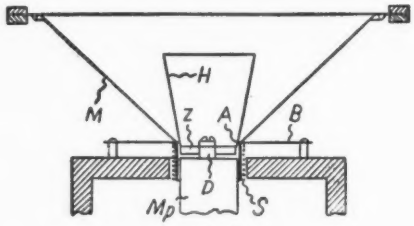



Abb. 7

Schwingspule des Lautsprechers für den tieferen Frequenzbereich angeordneten, von dieser mechanisch getrennten metallischen Kurzschlußring verbunden ist, die dadurch gekennzeichnet ist, daß die Schwingspule *S* über den Luftspalt hinaus verlängert und der Kurzschlußring *A* oberhalb des Innenpols des Magnetsystems in unmittelbarer Nähe des über den Luftspalt hinausragenden Teils der Schwingspule angeordnet ist.

## SCHRIFTTUM

**Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder vom Verlag angezeigten Bücher sind in allen deutschen Buchhandlungen zu erhalten**

C. Moritz, **Die Orchester-Instrumente in akustischer und technischer Betrachtung.** Verlag: A. Parrhysius, Berlin 1942. Preis 5,80 RM.

Vorliegendes Buch ist von einem Praktiker des Blasinstrumentenbaus für ausübende Musiker geschrieben und als solches zu verstehen und zu würdigen. Der Leser wird bekannt gemacht besonders mit der Wirkungsweise der Blasinstrumente und findet viel Wissenswertes über die Schwierigkeiten ihrer Herstellung, über Bauteile und die Pflege und Behandlung solcher Instrumente. Für den Akustiker besonders interessant ist die Besprechung der verschiedenen Instrumentengattungen insbesondere der Blas- und Schlaginstrumente, woraus man erkennt, was für mannigfaltige Klänge und Geräusche in der heutigen Musikausübung verlangt werden.

Leider finden, trotzdem man es nach dem Buchtitel erwartet, die Erkenntnisse der modernen akustischen Forschung in dem Buch so gut wie keine Erwähnung. Der Akustiker vermißt z. B. die Forschungen der letzten Jahre vor dem Krieg an Geigen und an Blasinstrumenten, auch wäre die Erläuterung des Lautstärkebegriffes und all die vielen Ergebnisse auf diesem Gebiet auch für den Musiker zu wissen wertvoll. Man sieht, wie notwendig eine Zusammenarbeit von akustischer Wissenschaft, Instrumenten-

bauer und Musiker, die auch von C. Moritz in der Einleitung zu seinem Buch gefordert wird, ist. Hoffentlich kommt sie einmal in kommenden, friedlichen Zeiten zustande.

Im übrigen wird sich das Buch trotzdem seinen Platz in Musikerkreisen erobern, bringt es doch, aus einer reichen Erfahrung heraus geschrieben, alles für diese Wissenswerte in lebendiger Darstellung.

Lottermoser

F. Kohlrausch, **Praktische Physik.** 18. neubearbeitete Auflage. Gr. 8°. 1. Band: VII und 535 S. mit 298 Abb. Verlag B. G. Teubner, Leipzig 1943. Preis für beide Bände gebunden 35,— RM.

Die Neuauflage des „Kohlrausch" hat gegenüber der vorhergehenden Auflage vom Jahre 1935 an Umfang wieder beträchtlich zugenommen. Während diese noch mit 958 Seiten auskam, hat die Neuauflage die Seitenzahl 1000 beträchtlich überschritten, so daß das Werk in 2 Bände aufgeteilt werden mußte. Ihr Inhalt entspricht etwa dem Stand der Forschung im Sommer 1940, doch wurden noch bei der Korrektur einigen Abschnitten Ergänzungen zugefügt, um die Fortschritte der neuesten Entwicklung zu berücksichtigen. Das Anwachsen des Umfanges ist vor allem zurückzuführen auf die Fortschritte der Forschung und das schnelle Anwachsen der Fachliteratur auf einigen Gebieten der modernen Physik in den letzten Jahren vor dem Krieg. Zu nennen sind hier in erster Linie die Kernphysik und die Höhenstrahlungsforschung, ferner die Röntgenspektroskopie nebst der Kristallstrukturforschung und die im Rahmen dieser Zeitschrift besonders interessierende Akustik. Die Abschnitte über diese und einige andere Gebiete wurden erweitert bzw. neu aufgenommen. Zur Ermöglichung dieser notwendigen Umfangsvergrößerung mußten Einsparungen auf dem Gebiete der klassischen Physik und des Physikunterrichts vorgenommen werden. Damit hat das Buch einen weiteren Schritt vom Lehrbuch weg zum Nachschlagewerk für den experimentierenden Forscher getan.

Von besonderem Wert sind für diesen die Tabellen. Ihre Zahl hat sich in der neuen Auflage wieder erhöht. Neu hinzugekommen sind u. a. Tabellen auf den Gebieten der Ultrarotforschung, der Röntgenspektroskopie und der Kristallstrukturbestimmung. Zahlreiche Tabellen sind neu geordnet, ein großer Teil erweitert und verbessert worden, so z. B. die kernphysikalischen.

Die Akustik wird in der Neuauflage nicht mehr als Teil der Mechanik deformierbarer Körper behandelt, sondern es ist ihr im Rahmen der gesamten Mechanik ein eigener Abschnitt eingeräumt worden. Damit wird den schnellen Fortschritten der technischen Akustik in den letzten beiden Jahrzehnten im Gefolge des Aufschwunges der Elektroakustik Rechnung getragen. Die Bearbeiter des „Kohlrausch" sind größtenteils Mitglieder der Physikalisch-Technischen-Reichsanstalt; die Bearbeitung des Abschnitts „Akustik" ist dem Leiter der akustischen Laboratorien der Reichsanstalt, Oberregierungsrat Dr. M. Grützmacher, übertragen worden. Damit hat einer der Pioniere der modernen Elektroakustik die Betreuung des Abschnitts übernommen. Ihm kommt es nicht so sehr auf physikalische Exaktheit als auf eine in dem eng gesteckten Rahmen möglichst umfassende und moderne Darstellung der Akustik an.

Grützmacher teilt den Abschnitt „Akustik" in 8 Kapitel ein. Das erste bringt in gedrängter Kürze einen Überblick über die Schallfeldarten und -größen. Das darauffolgende über die Schallsender behandelt neben den bekannten Methoden der mechanischen Erzeugung von Tönen und Klängen die der elektromechanischen Erzeugung, die heute große technische Bedeutung besitzt; das Grundsätzliche der piezoelektrischen und der für die Wasserschalltechnik so wichtigen magnetostriktiven Schallsender wird dabei auseinandergesetzt. Weiter befaßt sich dieses Kapitel mit den Schallsendern zur Wiedergabe von Sprache und Musik, zunächst mit den den Lautsprecher kennzeichnenden Größen (Frequenzkurve, Übertragungsmaß, Wirkungsgrad und Klirrfaktor) und dann mit den verschiedenen Antriebssystemen, dem elektromagnetischen, dem elektrodynamischen, dem elektrostatischen und dem piezoelektrischen; bei diesem werden die heute viel benutzten Seignettekristallsysteme besonders berücksichtigt. Die Fragen der Schallabstrahlung (Membran, Schallwand, Trichter) werden gestreift, und schließlich werden die gebräuchlichen Fernhörersysteme besprochen. Im folgenden Kapitel über die Mikrophone wird ein Abschnitt über die Messung der charakteristischen Größen vorangestellt (Druck- und Feldübertragungsmaß, Frequenzkurve, Richtcharakteristik und Nichtlinearität). Dann werden die gebräuchlichen Mikrophontypen behandelt: das Kohlemikrophon, das Kondensatormikrophon in der Nieder- und Hochfrequenzschaltung, das elektrodynamische und das in neuerer Zeit stärker eingeführte piezoelektrische (Seignettekristall-)Mikrophon.

Das umfangreichste Kapitel ist das über die Messung der Schallfeldgrößen. Hier kommt die moderne elektroakustische Meßtechnik gebührend zu ihrem Recht. Beispielweise im ersten Abschnitt, der der Messung des Schalldruckes gewidmet ist, werden die verschiedenen Methoden der Kompensation und des Ersatzes der Schallkräfte durch elektrische Kräfte sehr ausführlich besprochen (elektrodynamische Kompensation nach Gerlach und elektrostatische nach E. Meyer, Ersatz der Kräfte mit Hilfe des Kondensatormikrophons in der Hochfrequenzschaltung und des Kondensatormikrophons mit Hilfselektrode

[Grützmacher und E. Meyer]). Außerdem wird in diesem Abschnitt auf die Druckkammerverfahren (Pistophon und Thermophon, Mikrophoneichung in der Druckkammer) und auf die Schalldruckmessung in der freien fortschreitenden Welle eingegangen, bei der die Schallfeldverzerrung durch das Mikrophon zu beachten ist. Die Schallschnelle und der Schallausschlag sind als gerichtete Größen der Messung schwerer zugänglich als der Schalldruck, und die Methoden zu ihrer Messung haben deshalb nicht so große technische Bedeutung erlangt. Es werden besprochen die Messung der Schallschnelle mit der Rayleighscheibe und des Schallausschlages mit dem Kathodophon und dem Ventilmanometer. Die Messung des Schallstrahlungsdruckes wird nur gestreift. Ein verhältnismäßig breiter Raum wird der Bestimmung von Schallwiderständen eingeräumt. Die Begriffe des Schallwellenwiderstandes, des akustischen und des mechanischen Widerstandes werden bereits im Zusammenhang mit den Schallfeldgrößen im ersten Kapitel definiert. Im Rahmen der Meßtechnik werden Beispiele berechenbarer akustischer Widerstände angeführt (der induktive Widerstand eines Rohrstutzens [Resonatorhalses] und der kapazitive Widerstand eines Windkessels) und die modernen Verfahren zur Messung akustischer Widerstände angegeben (Schustersche Brücke, elektrodynamisches und elektrostatisches Vibrometer usw.); ferner werden die Begriffe des Strahlungswiderstandes und der mitschwingenden Mediummasse erläutert. Die moderne Akustik hat die in diesem Abschnitt erwähnten Begriffe wie Schallwellenwiderstand, akustischer Widerstand, akustische Kapazität und Induktivität usw. aus der Elektrotechnik übernommen, die ihr viele technische Hilfsmittel lieferte, und der sie auch methodisch und theoretisch viel verdankt, man denke beispielsweise an die Zweipol-, die Vierpol- und die Leitungstheorie, deren Ergebnisse die Akustik zum großen Teil wegen der Ähnlichkeit ihrer grundlegenden Differentialgleichungen mit den entsprechenden der Elektrotechnik übernehmen konnte. Erfahrungsgemäß können sich Physiker anderer Fachgebiete an die aus der Elektrotechnik übernommenen Begriffe der Akustik und damit an die moderne Fachsprache des Akustikers nur schwer gewöhnen. Deshalb ist es sehr dankenswert, daß in einem weitverbreiteten Physikbuch wie dem „Kohlrausch" diese Begriffe erörtert und damit einem größeren Kreis von Physikern nähergebracht werden. — Im Kapitel über die Messung der Schallfeldgrößen braucht die Messung der Tonhöhe nur kurz erwähnt zu werden, da die Messung der Frequenz, insbesondere die mit den üblichen Frequenzmeßbrücken, im zweiten Bande im Kapitel über den niederfrequenten Wechselstrom behandelt wird.

Das 5. Kapitel befaßt sich mit den Fragen der Schallausbreitung. Die bekannten Verfahren zur Messung der Schallgeschwindigkeit in Gasen und Flüssigkeiten von den klassischen (Methode der Kundtschen Staubfiguren, Quinckesches Interferenzrohr) bis zu den modernen Ultraschallverfahren (akustisches Interferometer [Pierce], Lichtbeugung an der Ultraschallwelle [Debye und Sears, Lucas und Biquard]) werden besprochen. Auf die zahlreichen Verfahren zur Messung der Schallabsorption in den Medien wird nicht näher eingegangen. Dafür ist je ein Abschnitt der für die Raum- und Bauakustik wichtigen Messung der Schallabsorption von Schallschluckstoffen (Bestimmung des Schluckgrades aus der Nachhallzeit im Hallraum) und der Schalldämmung von Trennwänden gewidmet worden.

Im 6. Kapitel werden die Schallaufzeichnungsverfahren (Schallplatten-, Magnetton-, Tonfilmtechnik) und im 7. die Methoden der Klanganalyse behandelt und zwar diese sehr ausführlich. Hier werden die neuen optischen Verfahren der Fourieranalyse von v. Békésy und Shouten erwähnt, weiter die Methoden der Aussiebung der Teiltöne mit akustischen und elektrischen Filtern, die Oktavsiebanalyse nach Trendelenburg und das Siemens-Klangspektrometer nach Freystedt. Dem Suchtonverfahren wird verhältnismäßig breiter Raum gewährt. Die bekannte Grützmachersche Methode wird eingehender behandelt, die verschiedenen anderen Lösungen der Aufgabe werden gestreift, so die Verfahren, bei denen Durchlaßfilter mit der Eigenfrequenz über dem zu analysierenden Frequenzbereich benutzt werden, weiter u.a. die für Demonstrationsversuche geeignete elektrostatische Lösung. Schließlich werden noch die physikalisch interessanten Verfahren der Klanganalyse mittels der Schallgitterspektroskopie erwähnt (Meyer und Thienhaus).

Das letzte Kapitel mit der Überschrift „Der Mensch als Schallsender und Schallempfänger" bringt vor allem technisch interessante Einzelheiten aus der physiologischen Akustik. Der erste Abschnitt befaßt sich mit dem Wesen, dem Frequenzumfang und der Schalleistung der menschlichen Stimme, der zweite mit dem menschlichen Ohr; er bringt vor allem die Definition und die Methoden zur Messung der Lautstärke (Barkhausenscher Lautstärke- und objektiver Lautstärke- und Geräuschmesser). Der dritte Abschnitt befaßt sich mit den für die Übertragung von Sprache und Musik benötigten Frequenzbändern.

Nach diesem Überblick stehen im Vordergrund der Grützmacherschen Darstellung der Akustik die elektroakustischen Methoden und die Probleme der technischen Akustik. Diese sind bisher in die physikalische Lehrbuchliteratur nur zögernd eingedrungen, und es wäre zu begrüßen, wenn dieser Vorgang durch die hier besprochene moderne Darstellung der Akustik im „Kohlrausch" beschleunigt würde. H. Oberst

Verantwortlicher Schriftleiter: Oberregierungsrat Dr. Martin Grützmacher, Berlin. — Für den Anzeigenteil verantwortlich: A. Plohmann, Leipzig. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig. — Druck: A. Heine GmbH., Gräfenhainichen. — „I. v. W. g." — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste 1. — Printed in Germany